



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA KEANDALAN *SUBSEA GAS PIPELINE* DALAM
KONDISI TERKUBUR: STUDI KASUS DARI PEMPING
ONSHORE RECEIVING FACILITIES MENUJU BATAM
*ONSHORE RECEIVING FACILITIES***

**RAHMANTYO ERLANGGA
NRP. 431100089**

Dosen Pembimbing

**Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



FINAL PROJECT - MO 141326

RELIABILITY ANALYSIS of SUBSEA GAS PIPELINE IN BURIED CONDITION: A CASE STUDY OF PEMPING ONSHORE RECEIVING FACILITIES TO BATAM ONSHORE RECEIVING FACILITIES

RAHMANTYO ERLANGGA
NRP. 431100089

Supervisors

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE ENGINEERING
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

**ANALISA KEANDALAN SUBSEA GAS PIPELINE DALAM KONDISI
TERKUBUR: STUDI KASUS DARI PULAU PEMPING ONSHORE
RECEIVING FACILITIES MENUJU BATAM ONSHORE RECEIVING
FACILITIES.**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

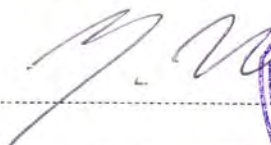
Oleh :

RAHMANTYO ERLANGGA


NRP. 4311 100 089

Disetujui oleh :

1. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc (Pembimbing 1)



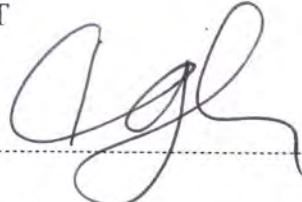
2. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D (Pembimbing 2)



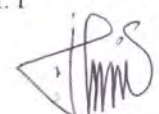
3. Ir. Imam Rochani, M.Sc (Penguji 1)



4. Agro Wisudawan, S.T., M.T (Penguji 2)



5. Dirla Marina Chamelia, S.T., M.T (Penguji 3)



SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISA KEANDALAN *SUBSEA GAS PIPELINE* DALAM KONDISI TERKUBUR: STUDI KASUS DARI PEMPING *ONSHORE RECEIVING FACILITIES* MENUJU BATAM *ONSHORE RECEIVING FACILITIES*

Nama Mahasiswa : Rahmantyo Erlangga

NRP : 4311100089

Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS

Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D.

ABSTRAK

Pipa milik PT. Energi Listrik Baatam yang mulai beroperasi tahun 2015 merupakan perusahaan konsorsium antara PT Medco Power Indonesia dan PT Dalle Engineering Construction Untuk mengalirkan hasil produksinya dari Pemping ORF (Onshore Receiving Facilities) ke Batam ORF menggunakan pipa bawah laut yang akan ditanam di dasar laut. Tugas Akhir ini menjelaskan tentang analisa keandalan pipa dalam kondisi terkubur yang dilakukan terdiri dari analisis *gaya - gaya* dari *pipelines*, perhitungan tegangan pipa, serta keandalan pada pipa yang terbagi menjadi 2 segmen dan 9 section. Berdasarkan hasil perhitungan tegangan, didapatkan keluaran berupa tegangan ekuivalen von mises. Tegangan yang diijinkan dari code ASME B31.4 yaitu 90% SMYS didapat nilai sebesar 373.5 MPa, semua pipa pada setiap section telah memenuhi tegangan yang diijinkan. perhitungan keandalan pipa didapatkan hasil berupa nilai keandalan pipa yang diperoleh dari hasil percobaan sebanyak 30000 kali. Hal ini menunjukkan bahwa pipa masih bisa beroperasi selama *design life* yaitu selama 25 tahun.

Kata kunci: Pemping ORF, Batam ORF, *tegangan ekuivalen von mises*, *buried pipeline*, keandalan.

RELIABILITY ANALYSIS of SUBSEA GAS PIPELINE IN BURIED CONDITION: A CASE STUDY OF PEMPING ONSHORE RECEIVING FACILITIES TO BATAM ONSHORE RECEIVING FACILITIES

Studen's Name : Rahmantyo Erlangga
Reg. Number : 4311100089
Departement : Ocean Engineering, Faculty of Marine Tech., ITS
Supervisor : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D.

ABSTRACT

Pipeline owned by PT. Electrical Energy Batam which began operations in 2015 is a consortium between PT Medco Power Indonesia and PT Dalle Engineering Construction To stream output from Pemping ORF (Onshore Receiving Facilities) to Batam ORF using a subsea pipeline that will be planted on the seabed. This final project describes the reliability analysis of pipeline buried under conditions which do consists of the analysis of styles - from pipelines, pipe stress calculations, as well as the reliability of the pipe that is divided into two segments and 9 section. Based on the results of stress calculations, obtain the output of the voltage equivalent von misses. Allowable voltage of ASME B31.4 code that is 90% SMYS obtained a value of 373.5 MPa, all pipes in each section has met the allowable voltage. reliability calculation pipe is obtained in the form of pipeline reliability value obtained from the results of the experiment as much as 30 000 times. This suggests that the pipeline could still be in operation during the design life is 25 years.

Keyword: Pemping ORF, Batam ORF, *ekuivalent strees von misses*, buried pipeline, reliability.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu. Tugas Akhir ini berjudul “Analisa Keandalan *Subsea Gas Pipeline* Dalam Kondisi Terkubur: Studi Kasus dari Pulau Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities*.”.

Adapun penyusunan Tugas Akhir ini adalah guna memenuhi salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini membahas tentang tegangan pada pipa dalam kondisi terkubur serta keandalan pipa pada saat beroperasi.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saran dan kritik membangun sangat penulis butuhkan untuk perbaikan laporan tugas akhir di masa mendatang. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis khususnya dan pihak-pihak yang membutuhkan informasi tentang rekayasa di bidang teknik kelautan.

Wassalam.

Surabaya, Januari 2016

Rahmantyo Erlangga

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini banyak pihak-pihak yang telah membantu penulis baik itu secara moral maupun material sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah penulis, dr. Lawu Soekarno Achfandi Sp.THT-KL, dan ibu penulis, dr. Rahmania Ariantini Sp.PK. Terima kasih atas segala doa, kesabaran, dukungan, serta motivasi yang diberikan kepada penulis. Beliau lah yang menjadi alasan penulis untuk semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Adik penulis tercinta, Himawan Rahmanadi, dan kakak penulis, dr. Indira Prasti yang banyak sekali mendukung dan mendoakan penulis. Semoga dapat melanjutkan pendidikan sampai ke jenjang tertinggi.
3. Keluarga besar penulis yang senantiasa mendoakan penulis agar cepat menyelesaikan studi S1 di ITS
4. Kedua Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis, yaitu Dr Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., dan Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D., penulis berterima kasih sebesar besarnya atas pengetahuan dan bimbingan bapak selama ini.
5. Teman-teman IFFA Surabaya, UKM Flag Football ITS, Inferno FF dan Aquila FF, yang selalu mendorong sekaligus memotivasi penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. teman-teman L-29, TRIDENT yang selalu mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Sholihin, S.T., M.,T., selaku dosen wali penulis yang telah memberi pengarahan kepada penulis selama melaksanakan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan.
8. Bapak dan ibu dosen beserta seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Kelautan atas semua bimbingan dan ilmu yang diberikannya.

Sekali lagi, terima kasih banyak untuk semua pihak yang telah tertuliskan. Semoga, kebaikan ini akan mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT.

Surabaya, Januari 2016

Rahmantyo Erlangga

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Pengertian Umum Mengenai Transmisi Pipa.....	6
2.2.2 Subsea Gas Pipeline	7
2.2.3 Code yang Digunakan	8
2.2.4 Desain Pipa.....	8
2.2.2.1 Perhitungan Properti Pipa.....	8
2.3 Beban-Beban Pada Sistem Perpipaan	9

2.3.1 Beban Sustain (Sustain Loads).....	10
2.3.2 Beban Ekspansi Thermal (Expansion load)	10
2.3.3. Beban Operasi (operating load)	10
2.3.4 Beban occasional (occasional load)	10
2.3.5 Functional Load	11
2.3.6 Enviromental Load.....	11
2.4 Teori Tegangan pada Pipa	11
2.4.1 Longitudinal Stress.....	12
2.4.1.1 Tegangan Kompresif Akibat Ekspansi Termal	13
2.4.1.2. Tegangan Tensile.....	13
2.5 Tegangan Tangensial (Hoop Stress)	14
2.6 Tegangan Ekuivalen von Mises	14
2.7 Gaya Aksial.....	15
2.8. Gaya Friksi Tanah.....	16
2.9 Konsep Analisa Keandalan dalam Perancangan.....	17
2.10 Keandalan pada Sistem Rekayasa.....	18
2.11 Konsep Keandalan Struktur	19
2.12 Keandalan Komponen pada Model Stress – Strength.....	20
2.13 Moda Kegagalan	21
2.14 Simulasi Monte Carlo	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir	26
3.2 Pengumpulan Data	28
3.2.1 Data Struktur	28
3.2.2 Data Lingkungan	29
3.3.2.1. Data Pasang Surut	29
3.3.2.2. Data Tanah	29

3.3.3 Pembagian Segmen	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Umum	32
4.1.1 Data Properti Pipa	32
4.1.2 Data Properti Tanah	32
4.2 Pemodelan.....	33
4.3 Analisis Gaya Aksial.....	35
4.4 Analisis Gaya Friksi Tanah.....	35
4.5 Analisa Tegangan Pipa	36
4.6 Analisa Keandalan	39
4.7 Penentuan Moda Kegagalan	40
4.8 Penentuan Variabel Acak dan Parameter Statistik.....	40
4.9 Simulasi Monte Carlo	42
BAB VI PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Letak Jalur Perpipaan	3
Gambar 2.1 Subsea Gas Pipeline	7
Gambar 2.2 Longitudinal Stress	12
Gambar 2.3 Tegangan Tangensial (Hoop Stress) Pada Pipa	14
Gambar 2.4 Gaya Aksial pada Model Dua Dimensi.....	15
Gambar 2.5 Fungsi Kerapatan Peluang Dari Kapasitas (X) Dan Tuntutan (Y).....	18
Gambar 2.6 Fungsi distribusi kumulatif dan fungsi kerapatan peluang pada angka keamanan $Z=X/Y$	19
Gambar 2.7 Interferensi Stress-Strength.....	20
Gambar 2.8 Hubungan Bilang Bcak yang Mengikuti Distribusi Uniform dengan Perubah Acak X yang Memiliki Fungsi Distribusi Komulatif $F_x(x)$ (Rosyid, 2007).....	23
Gambar 2.9 Flowchart dari simulasi monte carlo	24
Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir	27
Gambar 4.1 Model Pipa Setelah di Meshing	33
Gambar 4.2 Input Pemodelan	34

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Pipeline Material Properties Data	3
Tabel 2.1 <i>Allowable Stress</i>	12
Tabel 3.1 Data Operasional Pipa	28
Tabel 3.2 Data Tekanan dan Temperatur.....	29
Tabel 3.3 Data Pasang Surut	29
Tabel 3.4 Data Sand Soil	29
Tabel 3.5 Data Clay Soil	30
Tabel 3.6 Pembagian Segmen Pipa.....	30
Tabel 4.1 Data Properti Tanah A	32
Tabel 4.2 Data Properti Tanah B	33
Tabel 4.3 Tabel 4.3 Boundary Layer pada Pemodelan	34
Tabel 4.4 Perhitungan Gaya Aksial Pada Pipa	35
Tabel 4.5 Perhitungan Total Resistance.....	36
Tabel 4.6 Besar Tegangan Operasi yang diijinkan	37
Tabel 4.7 Rumus Analisis Tegangan pada Pipa.....	37
Tabel 4.8 Analisis Tegangan pada Pipa	38
Tabel 4.9 Analisis Maximum Allowable Hope Stress pada Pipa	38
Tabel 4.10 Analisis Maximum Allowable Longitudinal Stress pada Pipa	39
Tabel 4.11 Analisis Maximum Allowable Ekiuvalent (von Misses) Stress pada Pipa....	39
Tabel 4.12 Input Data Sebagai Variable Acak Untuk Pemping ORF.....	41
Tabel 4.13 Input Data Sebagai Variable Acak Untuk Batam ORF	41
Tabel 4.14 Distribusi variabel acak untuk Pemping ORF	42
Tabel 4.15 Distribusi variabel acak untuk Batam ORF	42
Tabel 4.16 Contoh Simulasi Monte Carlo	44
Tabel 4.17 Hasil Analisa Keandalan Simulasi Montecarlo pada Setiap Section.....	45

DAFTAR NOTASI

	= koefisien ekspansi termal ($^{\circ}\text{C}$)
μ	= koefisien friksi (0,3 min s.d. 0,5 max)
ν	= poisson Ratio
A_c	= luas penampang segmen pipa per satuan panjang (m^2/m panjang pipa)
A_i	= luas penampang internal pipa (mm^2)
A_s	= luas potongan melintang pipa (mm^2)
D_0	= diameter luar pipa (mm)
D_i	= diameter internal pipa (mm)
E	= modulus Young (MPa)
F	= gaya aksial efektif (kN)
F_d	= faktor desain
g	= percepatan gravitasi (m/s^2)
H	= kedalaman pipa di bawah tanah (m)
H_{lay}	= <i>residual lay tension</i> (N)
I	= momen inersia (kg m^2)
q	= gaya friksi tanah (N/m)
P	= tekanan desain (MPa)
P_c	= tekanan tanah yang bekerja pada pipa (N/m^2)
P_e	= tekanan eksternal pipa (MPa)
P_i	= tekanan internal pipa (MPa)
ρ	= massa jenis air (kg/m^3)
S	= SMYS (MPa)
S_E	= tegangan ekivalen Von Mises (MPa)

S_h = tegangan *hoop* (MPa)

S_L = tegangan longitudinal (MPa)

S_u = *soil shear strenght* (kPa)

t = ketebalan pipa minimum (mm)

t_{wt} = *wall thickness* (mm)

t_{corr} = tebal coating anti korosi (mm)

t_{conc} = tebal *concrete coating* (mm)

T = faktor temperatur

T_o = temperatur operasi (°C)

T_i = temperatur lingkungan (°C)

W_p = berat pipa dan isinya per satuan panjang (N/m)

W_s = *submerged weight* (kg)

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A : Perhitungan Stress.
LAMPIRAN B : Simulasi Monte Carlo.
LAMPIRAN C : Pemodelan Gaya – Gaya Yang Bekerja.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada saat ini zaman telah mengalami Kemajuan di segala bidang teknologi telah menuntut kita untuk selalu berkembang. Salah satu faktor penting untuk kemajuan teknologi ini adalah adanya sumber energi. Contoh sumber energi yang sangat dibutuhkan adalah minyak bumi, gas, batu bara, panas bumi, dan masih banyak lagi. Sumber energi inilah yang nantinya dimanfaatkan untuk transportasi, pembangkit listrik, produksi, dan sebagai penyokong kehidupan di era globalisasi ini.

Untuk penyaluran gas ini bisa menggunakan LNG (Liquid Natural Gas) carrier atau dengan pipa. Kedua cara ini memiliki efektifitas masing-masing tergantung kondisi yang ada. Bila jarak penyaluran dirasa cukup jauh maka akan lebih efektif menggunakan LNG carrier. Sedangkan untuk jarak yang relatif lebih dekat lebih efektif menggunakan pipa karena tidak terhambat waktu tempuh dan cuaca. Untuk pemasangan pipa bisa di darat dan di laut. Masing-masing tempat memiliki kesulitan yang berbeda. Dalam industri Migas, pipeline merupakan komponen utama yang digunakan sebagai sarana distribusi dan transmisi minyak dan gas baik di daratan (*onshore*) maupun di lepas pantai (*offshore*). Subsea pipeline atau pipa bawah laut dapat bekerja selama 24 jam sehari, 365 hari dalam setahun atau selama umur pipa bisa mencapai 30 tahun atau bahkan lebih (Soegiono, 2007).

Subsea Pipeline pada dasarnya dirancang untuk diletakan di atas *seabed* atau dalam parit buatan di dasar laut. Pembuatan parit untuk pipa (*trenching of pipelines*) biasanya dilakukan di daerah jalur kapal beroperasi untuk menghindari kejatuhan jangkar maupun *trawl gear* nelayan, pada kondisi lingkungan yang berarus kuat, serta di daerah dekat pantai. Mengacu pada Keputusan Menteri Perhubungan nomkor pm 68 tahun 2011 Pasal 45 Ayat 3 menjelaskan bahwa pipa bawah laut wajib ditanam sekurang-kurangnya 4 meter dari dasar laut (*sea bed*) pada kedalaman dasar laut kurang dari 20 meter.

Pipeline Engineering atau Teknik transmisi pipa merupakan suatu rekayasa teknik tentang sebuah struktur pipa yang sering digunakan sebagai salah

satu transportasi dalam mendistribusikan minyak mentah dan gas bumi, mengingat produksi minyak dan gas semakin meningkat produksinya (Soegiono,2007), sehingga proses pendistribusian dengan menggunakan sistem perpipaan ini lebih aman dan efisien apabila dibandingkan dengan menyewa kapal tanker untuk pendistribusian minyak dan gas bumi. Dengan adanya *power plant* yang memerlukan gas bumi secara terus - menerus, maka PT Energi Listrik Batam yang merupakan anak perusahaan dari PT. Medco Energi Power membangun Sistem pipa (*pipeline system*) dari Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities*. pipa berdiameter 16 inch (406.4 mm) yang didesain menggunakan Standard Code : *ASME B31.8*” dirancang dengan design Temperature sebesar 150 °F (65.56 °C) agar dapat memaksimalkan aliran produksi gas dari Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities*, maka operator mengatur dengan desain pressure sebesar 800 psi (5.51 MPa). Mengacu pada Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor 300.K/38/M.PE/1997 Pasal 11 Ayat 1 menjelaskan bahwa Pipa Transmisi Minyak yang dioperasikan dengan tekanan yang dapat menimbulkan tegangan melingkar (*hoop stress*) lebih besar dari 20% (duapuluh persen) Kuat Ulur minimum Spesifikasi (KUMS), maka perlu dilakukan analisa tegangan yang terjadi pada pipa dan analisa keandalan agar pipa dapat bertahan lama

Kegagalan pada pipa bawah laut ini dapat berupa *buckling*, *fatigue* maupun *overstress*. Dalam kasus ini keandalan akan dihitung terhadap tegangan ekuivalen. Tegangan ekuivalen disini adalah resultan dari *hoop stress* dan *longitudinal stress*. Dimana moda kegagalan akibat tegangan ekuivalen adalah

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = \text{Kekuatan} - \text{Beban} \quad (1.1)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - S_E \quad (1.2)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_L^2 - (\sigma_h \sigma_L)} \quad (1.3)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - \quad (1.4)$$

$$\sqrt{\left((P_i - P_e) \frac{D}{2t}\right)^2 + \left((-E\alpha(T_o - T_i)) + (v SH)\right)^2 - \left((P_i - P_e) \frac{D}{2t} \left((-E\alpha(T_o - T_i)) + (v SH)\right)\right)}$$

Dengan:

SMYS = *specified minimum yield stress*, MPa



Gambar 1.1 Peta letak jalur perpipaian

Pada perancangan instalasi *pipeline* dari Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities* adapun data-data pipa yang digunakan seperti pada tabel 1.1 dibawah ini :

Tabel 1.1 Pipeline Material Properties Data

Pipeline Design Parameter	Symbol	Value	Units
Outer Diameter	OD	406.4	mm
Wall Thickness	t	9.53	mm
Corrosion Allowance	CA	1	mm
Corrosion Coating Thickness	t_{corr}	6	mm
Pipe Joint Length	L_p	12	m
Seawater Density	ρ_{sw}	1025	kg/m ³
Steel Density	ρ_s	7850	kg/m ³
Modulus Young	E	200462	Mpa
Coef of Line Expansion	α	1.17×10^{-6}	/°C
Poisson Ratio	ν	0.3	
Inside Diameter	ID	387.34	mm
Density of Content	ρ_{cont}	14.4	kg/m ³
Density of Corrosion Coating	ρ_{corr}	1281.5	kg/m ³

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang di bahas pada penelitian tugas akhir adalah

1. Bagaimana tegangan ekuivalen yang terjadi pada pipa?
2. Bagaimana keandalan pada pipa dalam kondisi terkubur?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan yang dicapai dalam penelitian tugas akhir adalah

1. Mengetahui tegangan ekuivalen yang terjadi pada pipa.
2. Mengetahui keandalan pada pipa dalam kondisi terkubur.

1.4. Manfaat

Dari hasil analisa dapat diketahui tegangan dan keandalan pada pipa yang mengalir gas alam dari Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities* dalam kondisi terkubur sehingga hasil tugas akhir dapat diperoleh data dan solusi yang dicari dari perumusan masalah. Selain itu juga diharapkan data-data dan solusi yang didapat memberikan banyak manfaat dan menjadi referensi apabila terjadi studi kasus dan masalah yang sama.

1.5. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan ruang lingkup dari berbagai masalah yang telah dijabarkan, maka permasalahan tersebut akan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Menggunakan studi kasus pipa bawah laut dari dari Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities*.
2. Pemodelan dilakukan pada pipa 16 inch yang dimulai dari $KP\ 0.008$ sampai $KP\ 13.348$.
3. Beban yang bekerja pada pipa adalah beban internal dan beban eksternal yang terjadi pada pipa.
4. Beban gempa diabaikan.
5. Structural degradation diabaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pipa bawah laut merupakan suatu alat transportasi fluida dari *wellhead* ke *refinery* atau *production*. Struktur ini adalah alternatif lain dalam hal penggunaan kapal tanker. Investasi awal dari moda transportasi ini sangat tinggi tetapi pipa ini memiliki biaya operasi rendah. Pipa bawah laut juga dapat berfungsi pada cuaca buruk berbeda dengan moda transportasi lainnya seperti kapal tanker. baik itu LNG plant, petrochemical plant, Fertilizer plant, Nuclear plant, Geothermal plant, Gas plant, baik di On-Shore maupun di Offshore, semuanya mempunyai dan membutuhkan instalasi pipa baik pipeline ataupun piping. Pipeline mempunyai fungsi untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ke tempat lainnya. Fluida yang berada didalam pipa bisa berupa benda gas ataupun benda cair yang mempunyai *pressure* dan *temperature*. Karena umumnya material pipa terbuat dari metal (carbon steel), maka sesuai dengan karakteristik pada metal yaitu jika diberi tekanan dan temperatur yang mengalir didalamnya, metal akan mengalami pemuaian jika fluidanya panas dan akan terjadi pengkerutan jika fluidanya dingin.

Salah satu kepentingan melakukan analisa distribusi tegangan (*stress analysis*) adalah kita mengetahui bahwa perhitungan *Stress Analysis* dari *pipe system* tersebut secara keseluruhan adalah sebagai jaminan bahwa suatu *pipe system* dapat menjalankan fungsinya dengan baik, maksimal, dan aman tanpa mengalami insiden yang mematikan serta bahaya yang dapat mengakibatkan kerugian baik operasional ataupun bagi lingkungan yang berada sepanjang pipa tersebut.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Umum Mengenai Transmisi Pipa

Jaringan pipa digunakan sebagai alat transportasi fluida (*liquid* atau *gas*), *mixed of liquid, solid* dan *fluid-solid mixture*. Segmen pipa yang panjang biasanya terhubung dengan pompa, *valve*, alat control dan peralatan yang lain selama

beroperasi. Beberapa Negara adidaya telah menggunakan *pipeline* sebagai sarana transportasi untuk berbagai pengangkutan diantaranya sebagai berikut (Liu, 2005).

1. Menyalurkan air dari *treatment plant* menuju perumahan atau bangunan-bangunan lain.
2. Menyalurkan kotoran dari rumah dan tempat industri menuju tempat pengolahan limbah.
3. Menyalurkan *natural gas* ke daerah-daerah yang jaraknya ribuan mil.
4. Menyalurkan *crude oil* dari sumur menuju kilang minyak.
5. Menyalurkan hasil proses *crude oil* (bensin, solar, oli dll) dari kilang minyak ke beberapa kota dengan jarak ratusan mil.

2.2.2 Subsea Gas Pipeline

Subsea gas pipeline adalah suatu sistem pipa yang sangat panjang menghantarkan gas, menghubungkan antar fasilitas yang diletakkan di dasar laut atau di bawah di dalam parit. Dalam beberapa kasus, pipa ini kebanyakan di darat tapi di tempat-tempat melintasi hamparan air, seperti laut kecil, lurus dan sungai. proyek konstruksi pipa perlu mempertimbangkan sejumlah besar faktor, seperti ekologi lepas pantai, dan geohazard

Subsea gas pipe dapat dirancang untuk cairan pada suhu tinggi dan tekanan. Dindingnya terbuat dari hasil tinggi kekuatan baja, 350-500 MPa (50,000-70,000 psi). Dalam industri minyak bumi, di mana kebocoran tidak dapat diterima, tekanan internal biasanya di urutan 10 MPa (1500 psi).



Gambar 2.1 Subsea Gas Pipeline

2.2.3 Code yang Digunakan

Jalur perpipaan harus memperhatikan kualitas dari rancangan itu sendiri. Baik itu dari sudut pandang *engineering* maupun sudut pandang *economy*. Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan beberapa pendekatan standar atau code diantaranya adalah *code ASME B31.8* dan *ASCE Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe 2001*, karena mempunyai standar atau ketentuan untuk perancangan pipa pada kondisi terkubur.

2.2.2 Desain Pipa

2.2.2.1 Perhitungan Properti Pipa

a. Total Diameter Pipa

Diameter terluar dari pipa dapat dicari dengan menambahkan diameter steel pipa dengan concret coating dan corrosion coating. Total diameter pipa ini juga dapat dijadikan sebagai diameter concrete.

$$D_t = (D_s + 2 t_{\text{corr}} + 2 t_{\text{conc}}) \quad (2.1)$$

Dengan

D_s = Outside Diameter

t_{corr} = tebal *corrosion coating*

t_{conc} = tebal *concrete coating*

b. Diameter dalam pipa

Diameter dalam pipa dapat dicari dengan melakukan pengurangan diameter baja dengan tebal baja pada pipa

$$D_i = D_s - 2 t_{\text{wt}} \quad (2.2)$$

Dengan

t_{wt} = wall thickness

c. Luasan Penampang baja

Luasan penampang baja dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$A_i = \frac{\pi}{4} (D_s) \quad (2.3)$$

d. Massa dari baja

Massa dari baja ini tidak termasuk dengan coating dan fluida

$$W_s = A_s \cdot \rho_{steel} \cdot g \quad (2.4)$$

e. Massa dari Fluida

Perhitungan ini merupakan perhitungan dari massa fluida yang mengalir di dalam pipa.

$$W_c = A_i \cdot \rho_{cont} \cdot g \quad (2.5)$$

f. Momen Inersia Pipa

Perhitungan momen inersia baja ini menggunakan rumus :

$$I_{pipe} = \pi \cdot \frac{D_s^4 - D_i^4}{64} \quad (2.6)$$

2.3 Beban-Beban Pada Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan dalam masa operasi akan selalu menerima berbagai macam beban. Masing - masing beban yang terjadi pada pada sistem pipa tersebut diakibatkan oleh jenis input pembebanan yang berbeda-beda yang dipengaruhi dari kondisi operasi sistem perpipaan itu sendiri maupun dari lingkungan sekitar sistem perpipaan. Untuk memperoleh hasil rancangan sistem perpipaan yang aman, tiap komponen beban baik akibat kondisi dari beban internal maupun akibat beban eksternal harus diperhatikan pada saat melakukan analisis perancangan sistem perpipaan dengan melakukan perhitungan tegangan yang terjadi.

Analisis pada sistem perpipaan yang dilakukan dengan maksud untuk menjamin akan keamanan sistem perpipaan selama kondisi operasi sesuai dengan *code* atau ketentuan yang telah ditetapkan. Pengelompokkan beban - beban yang

terjadi pada sistem perpipaan dapat diklasifikasikan: beban-beban sustain, beban ekspansi, beban operasi dan beban occasional.

2.3.1 Beban Sustain (Sustain Loads)

Beban sustain adalah beban yang dialami oleh instalasi pada pipa yang terjadi secara terus menerus. Beban ini merupakan perpaduan beban yang diakibatkan oleh *hoop stress* dan beban berat (*berat fluida dan berat pipa*).

2.3.2 Beban Ekspansi Thermal (*Expansion load*)

Beban ekspansi termal dapat dibagi menjadi :

- Beban ekspansi thermal akibat dari gerak yang dibatasi oleh *support* saat pipa mengalami *expansion*.
- Beban thermal yang diakibatkan oleh perbedaan suhu yang besar dan sangat cepat dalam dinding pipa sehingga dapat menimbulkan *stress*.
- Beban akibat perbedaan koefisien *expansion pipe* yang tersusun minimal dari dua material logam yang berbeda. *Support* pada pipa dipasang sepanjang sistem perpipaan untuk menahan beban sustain dan occasional, pada kasus instalasi pipa berdiameter 16 inch ini pipa tertahan oleh tanah yang ada pada kedalaman tertentu di bawah *subsea*. Namun apabila sistem perpipaan mengalami kenaikan suhu saat kondisi operasi, maka pipa akan mengalami *expansion* sehingga menimbulkan tegangan tinggi pada titik dimana pipa ditumpu dengan jenis tumpuan *rigid*.

2.3.3. Beban Operasi (*operating load*)

Beban operasi adalah beban bekerja pada sistem perpipaan selama operasi berlangsung, beban operasi merupakan beban yang diterima pipa yang diperoleh dari perpaduan beban *sustain* dan beban *thermal*.

2.3.4 Beban occasional (occasional load)

Ada beberapa hal yang dapat menyebabkan timbulnya beban occasional, yaitu :

- Salju, terjadi pada sistem perpipaan yang terletak pada bagian bumi yang mengalami musim salju. Konsentrasi permukaan salju yang sangat tebal pada bagian tertentu sepanjang pipa akan menimbulkan pembebanan berat yang berlebih yang harus ditahan oleh pipa.
- Fenomena alam, seperti *hurricane* dan *earthquake* akan menimbulkan eksistasi terhadap pipa yang bersifat dinamik. Analisa dinamik pada sistem perpipaan dibutuhkan untuk memperoleh *load distribution* yang berlebih yang harus ditahan oleh pipa.
- *Unusual plan operation*, merupakan kesalahan yang terjadi pada kondisi operasi yang disebabkan oleh adanya *error* pada operator ataupun kesalahan prosedur kerja dalam mengoperasikan sistem perpipaan.

Kenny(1993) juga menyebutkan jenis pembebanan pada pipa diantaranya:

2.3.5 Functional Load

Beban fungsional merupakan beban yang bekerja pada pipa sebagai akibat dari keberadaan pipa itu sendiri tanpa dipengaruhi oleh *environmental load*. Beban fungsional antara lain adalah beban dan berat pipa itu sendiri

2.3.6 Enviromental Load

Beban ini bekerja pada pipa akibat adanya kondisi lingkungan yang terjadi. Untuk beban pada pipa bawah laut, tentunya yang mempengaruhi adalah beban gelombang dan arus.

2.4 Teori Tegangan pada Pipa

Metode perhitungan dan analisa tegangan – tegangan yang mungkin bekerja pada sistem pipa telah diatur mengikuti *code* standar tertentu sesuai dengan operasi dan kondisi sistem pipa tersebut Dalam hal ini untuk pipa penyalur gas digunakan *code* standar ASME B31.8 2007 *Gas Transmission and Distributing Piping System*. Selain itu juga akan digunakan *code* standar lain yang bersesuaian dengan kondisi internal dan eksternal sistem pipa.

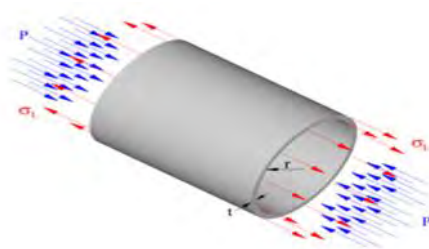
Menurut *code* ASME B31.8 2007 terdapat batasan-batasan besar tegangan yang diijinkan pada sistem pipa baik pada saat instalasi maupun pada saat operasi. Berikut besar tegangan yang bekerja pada sistem pipa penyalur berdasarkan *code*:

Tabel 2.1 Allowable Stress

Design Condition	Allowable		
	Hoop Stress	Longitudinal Stress	Combined Stress
Operation	70% SMYS	80% SMYS	90% SMYS
Hydrotest	90% SMYS	72% SMYS	96% SMYS
Installation	72% SMYS	80% SMYS	90% SMYS

2.4.1 Longitudinal Stress

Hal yang paling penting dalam analisa tegangan longitudinal adalah dengan meninjau apakah *pipeline* berada dalam kondisi tertahan (*restraint*) atau tidak tertahan (*unrestraint*). Sebelum pipa mengalami *upheaval buckling*, pipa berada dalam kondisi tertahan. Pada kondisi ini, pipa tidak dapat berekspansi karena tertahan oleh gaya friksi tanah di sekeliling pipa tersebut.



Gambar 2.2 Longitudinal Stress

Tegangan longitudinal merupakan tegangan yang timbul sebagai kombinasi pengaruh 2 komponen sebagai berikut:

2.4.1.1 Tegangan Kompresif Akibat Ekspansi Termal

Perbedaan temperatur saat instalasi dan operasi *pipeline* menyebabkan timbulnya ekspansi termal dalam arah longitudinal pipa. Namun karena *pipeline* berada dalam kondisi yang disebut *restrained pipeline*, maka pipa tidak dapat mengalami ekspansi sehingga timbul tegangan tekan termal sebagai berikut:

$$S_T = -E\alpha (T_o - T_i) \quad (2.7)$$

Dengan:

E = Modulus Young (MPa)

α = Koefisien ekspansi termal ($^{\circ}\text{C}$)

T_o = Temperatur operasi

T_i = Temperatur lingkungan

2.4.1.2. Tegangan Tensile

Pada saat pipa beroperasi maka akan terbentuk tegangan lain sebagai reaksi tegangan dari tegangan hoop atau tegangan longitudinal akibat tekanan internal pipa. Hal ini tergantung pada kondisi pipa tertahan (restrain) atau tidak. Pada kondisi pipa yang tertahan, maka akan timbul reaksi tegangan tarik akibat pengaruh Poisson dari tegangan *hoop*. Sebagaimana diketahui bahwa pengaruh Poisson menggambarkan rasio regangan yang terjadi pada arah melintang terhadap regangan pada arah longitudinal. Dengan kata lain, tegangan *hoop* akan menimbulkan pengaruh tegangan tarik Poisson pada arah longitudinal.

$$S_v = S_h \nu \quad (2.8)$$

Dengan:

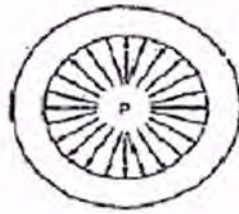
ν = poisson ratio

Tegangan Longitudinal didapat dari

$$S_l = S_T + S_v \quad (2.9)$$

2.5 Tegangan Hoop

Dalam pemilihan tebal pipa, pertimbangan tebal material dan bahan untuk menahan perbedaan *pressure* baik dari luar pipa maupun dari dalam pipa yang disebut dengan *hoop stress*.



Gambar 2.3 Tegangan Hoop Pada Pipa

Adapun rumus dari *hoop stress* adalah

$$S_h = (P_i - P_e) \frac{D_o}{2t} \quad (2.10)$$

Dimana:

P_i = Tekanan Internal

P_e = Tekanan Eksternal

D_o = Outside Diameter

t = nominal wall thickness

2.6 Tegangan Ekuivalen von Mises

Tegangan – tegangan yang bekerja pada arah yang berbeda – beda pada pipa dapat dipandang secara menyeluruh dengan menggunakan hubungan von Mises. Sehingga diperoleh tegangan ekuivalen von Mises sebagai berikut :

$$S_E = \sqrt{S_h^2 + S_l^2 - (S_h S_l)} \quad (2.11)$$

Dimana:

S_L = Longitudinal Stress

S_h = Hoop Stress

2.7 Gaya Aksial

Gaya aksial adalah gaya yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen sehingga mengakibatkan terjadinya tarikan atau tekanan pada pipa. Karena pipa diletakkan secara horizontal, maka gaya aksial yang terjadi pada pipa merupakan gaya yang terbentuk oleh tegangan longitudinal.



Gambar 2.4 Gaya Aksial pada Model Dua Dimensi

Secara umum, gaya aksial sangat dipengaruhi oleh ekspansi termal. Namun, selain itu gaya aksial pada pipa yang berada pada kondisi restrain juga dipengaruhi oleh tekanan internal di dalam pipa. Pada pipa kondisi tertahan, maka pada dinding pipa akan terbentuk tegangan kompresif pada arah longitudinal. Tegangan-tegangan yang bekerja pada arah longitudinal akan menyebabkan gaya aksial pada pipa. Resultan gaya aksial efektif inilah yang menyebabkan pipa mengalami tekukan ke arah vertikal pipa. Resultan gaya aksial efektif pada pipa tertahan menurut (Fan, 2013) adalah:

$$F = F_T + F_P \quad (2.12)$$

$$F_T = \frac{\pi}{4} E \alpha (T_o - T_a) (D_o^2 - D_i^2) \quad (2.13)$$

$$F_P = \frac{\pi}{4} (1 - 2\nu) (P_i D_i^2 - P_e D_o^2) \quad (2.14)$$

dimana:

F = gaya aksial efektif (kN)

E = modulus young (MPa)

α = koefisien ekspansi termal ($^{\circ}\text{C}$)

T_o = temperatur operasi ($^{\circ}\text{C}$)

T_i = temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)

D_o = diameter eksternal pipa (mm)

D_i = diameter internal pipa (mm)

= poisson's ratio (0,3 for steel)

P_i = tekanan internal (MPa)

P_e = tekanan eksternal (MPa)

2.8. Gaya Friksi Tanah

Gaya aksial ini ditahan oleh gaya yang berlawanan arah yaitu gaya yang berasal dari gaya friksi tanah serta berat *properties* pipa itu sendiri. Gaya friksi tanah merupakan gaya yang berasal dari tanah yang menahan di sekeliling pipa dan tanah timbunan yang berada di atas pipa.

Besarnya gaya friksi tanah tergantung pada jenis tanah timbunan dan ketinggian timbunan tanah di atas pipa (kedalaman pipa yang dipendam). Besarnya gaya friksi tanah menurut (Palmer, 1990) dirumuskan sebagai berikut:

Untuk *cohesionless material* (pasir, *silt*, kerikil)

$$q = HD(1 + f_c \frac{H}{D}) \quad (2.15)$$

Untuk *cohesive material* (clay)

$$q = S_u D \min(3, \frac{H}{D}) \quad (2.16)$$

dengan:

q = Gaya friksi tanah (N/m)

f_c = koefisien friksi (0.5 untuk *cohesionless material* dan 0.1 untuk *cohesive material*)

H = Ketinggian timbunan tanah (m)

D = Diameter pipa (m)

S_u = *Soil Shear Strength* (kPa)

2.9 Konsep Analisa Keandalan dalam Perancangan

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid dan Mukhtasor 2007).

Dalam konsep keandalan, suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel-variabel acak. Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan, dimana penyediaan (ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja pada sistem) (Ang dan Tang 1985).

Pemakaian konsep analisa keandalan yang didasarkan pada metode probabilitas telah berkembang dan semakin penting peranannya terutama untuk memecahkan masalah-masalah dalam perancangan praktis (Baker dan Wyatt, 1979). Kecenderungan ini salah satunya dikarenakan adanya kerusakan yang terjadi pada sistem rekayasa yang disebabkan oleh interaksi panas, beban statis maupun beban dinamis dapat dijelaskan secara lebih baik dengan konsep ini.

Dalam konsep ini perancang dapat menggambarkan suatu sistem dengan segala hal yang mempengaruhi atau mengakibatkan kerusakan pada sistem tersebut misalnya kondisi pembebanan, ketahanan struktur, kondisi lingkungan yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya karena melibatkan aspek ketidakpastian dalam analisisnya. Dalam analisa keandalan sistem struktural maka perlu untuk mendefinisikan ketidakpastian yang diterima oleh struktur (Cristenson dan Murotshu 1985) membagi ketidakpastian dalam 3 kelompok yaitu:

- Ketidakpastian fisik adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (variability) fisik seperti: beban, sifat material, dan ukuran material. Keragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam data sampel dengan pertimbangan praktis dan ekonomis.

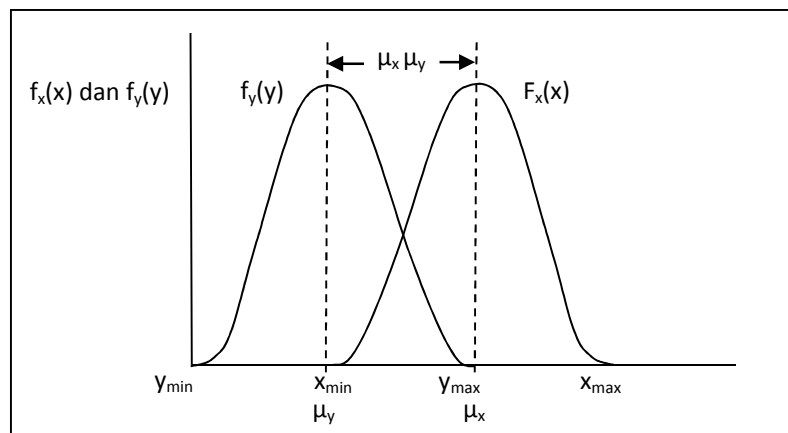
- Ketidakpastian statistik adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan data yang dibuat untuk membuat model secara probabilistik dari berbagai macam keragaman fisik diatas.
- Ketidakpastian model yaitu ketidakpastian yang berhubungan dengan tanggapan dari jenis struktur yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministik atau probalistik. Ketidakpastian yang terjadi disini merupakan hasil dari penyederhanaan dengan memakai bermacam-macam asumsi kondisi batas yang tidak diketahui dan sebagai hasil dai pengaruh interaksi ketidakpastian yang tidak tercakup dalam model.

2.10 Keandalan pada Sistem Rekayasa

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara *Demand* (tuntutan atau beban) dan *Capacity* (kapasitas atau keamanan) yang diperkenankan. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas, X^* , dan beban yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z^* = \frac{x^*}{y^*} \quad (2.17)$$

Mengingat nilai nominal dari kapasitas, x^* , dan beban, y^* tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5 Dengan demikian angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan $Z = \frac{x}{y}$ dari dua variable acak X dan Y.



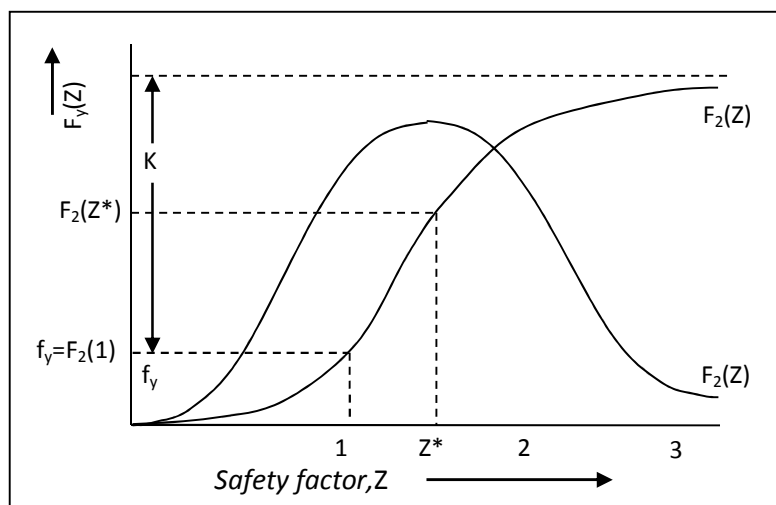
Gambar 2.5 Fungsi kerapatan peluang dari kapasitas (x) dan tuntutan (y)

Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya yang diukur dengan peluang kegagalan, dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang dari satu yaitu porsi dalam dimana $Z=X/Y < 1$. Peluang kegagalan sistem, P_f diberikan dengan persamaan:

$$P_f = \Pr[Z < 1] = F_z(1) \quad (2.18)$$

Dengan F_z adalah fungsi distribusi kumulatif dari Z . dengan pernyataan lain, peluang sistem untuk tidak gagal (keandalan) adalah:

$$K = 1 - P_f = \Pr[Z > 1] = 1 - F_z(1) \quad (2.19)$$



Gambar 2.6 Fungsi distribusi kumulatif dan fungsi kerapatan peluang pada angka keamanan $Z=X/Y$

Ketika distribusi peluang bersama (*joint probability distribution*) dari X tidak diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi kumulatif dari X/Y , peluang kegagalan nol ($P_f=0$) dan keandalan 100% ($K=1$) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum Y_{\max} tidak melewati kapasitas minimum X_{\min} , sehingga kedua distribusi tidak saling overlap.

2.11 Konsep Keandalan Struktur

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam kurun waktu tertentu (Rosyid 2007). Sistem dari keandalan struktur pada dasarnya

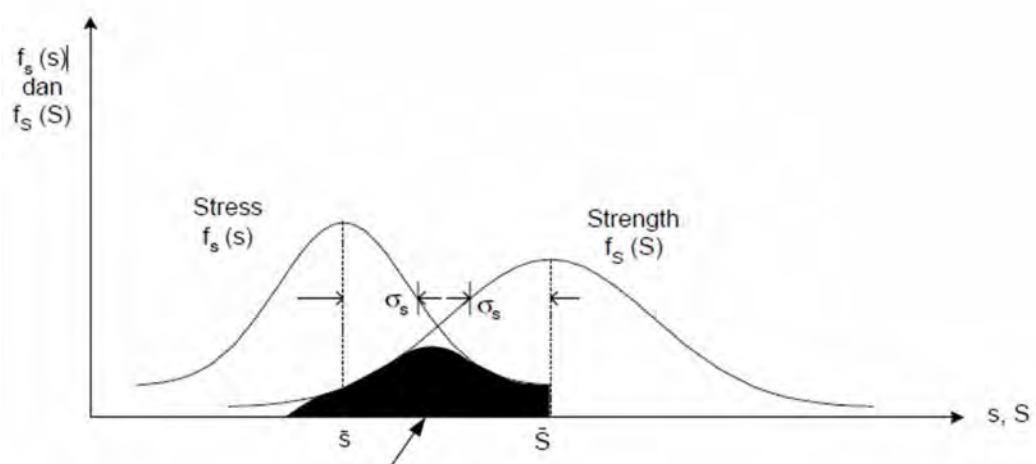
dapat ditunjukkan sebagai hubungan antara Demand (tuntutan atau beban) dan capacity (kapasitas atau kekuatan). Metode Monte Carlo merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mendapatkan nilai keandalan suatu struktur.

2.12 Keandalan Komponen pada Model Stress – Strength

Stress adalah suatu gaya atau tekanan yang terjadi dalam suatu lingkungan tertentu, seperti tekanan angin, tekanan akibat ledakan, tekanan akibat kenaikan suhu udara, tekanan beban dan sebagainya. Strength adalah kekuatan komponen yang dapat diukur kuantitasnya seperti kekuatan logam, kekuatan sambungan hasil pengelasan, kekuatan komponen mekanik dan sebagainya.

Sedangkan model stress-strength terjadi apabila suatu sistem atau komponen difungsikan atau digunakan dalam lingkungan yang mempunyai tingkat stress tertentu. Keandalan pada model stress-strength didefinisikan sebagai probabilitas komponen berfungsi dengan baik yaitu apabila strength komponen lebih besar dari stress yang membebani komponen tersebut. Perbedaan dengan pengertian keandalan yang lazim adalah bahwa keandalan pada model stress-strength bukan merupakan fungsi waktu.

Nilai keandalan pada model stress-strength dapat dihitung jika sifat dari variabel random stress dan variabel random strength diketahui atau jika fungsi densitas (pdf) variabel random stress dan strength diketahui. Andaikan fungsi densitas untuk strength (S) dinotasikan oleh $f_S(S)$ dan fungsi densitas untuk stress (s) dinotasikan dengan $f_s(s)$ dimana posisi distribusi variabel stress dan variable strength disajikan dalam gambar berikut :



Gambar 2.7 Interferensi Stress-Strength

$$\text{Keandalan} = R = P(S > s) = P(S-s > 0) \quad (2.20)$$

2.13 Moda Kegagalan

Langkah pertama sebelum menentukan moda kegagalan adalah menentukan kegagalan yang akan dialami oleh struktur (Rosyid,2008). Moda Kegagalan terdiri dari dua parameter penting yaitu kekuatan dan beban.

$$\mathbf{MK} = \text{Kekuatan} - \text{Beban} \quad (2.21)$$

Suatu sistem dinyatakan gagal apabila $\mathbf{MK} < 0$, dan dinyatakan $\mathbf{MK} = 0$, maka sistem dinyatakan failure surface.

Dalam Tugas Akhir ini moda kegagalan akibat Temperature, dan tekanan pipa saat operasi, tebal pipa yang mengarah keluar, serta ketidakpastian dalam peletakan pipa dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = \text{Kekuatan} - \text{Beban} \quad (2.22)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - S_E \quad (2.23)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - \sqrt{S_h^2 + S_L^2 - (S_h S_L)} \quad (2.24)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - \quad (2.25)$$

$$\sqrt{\left((P_i - P_e) \frac{D}{2t}\right)^2 + \left((-E\alpha (T_o - T_i)) + (v SH)\right)^2 - \left((P_i - P_e) \frac{D}{2t} \left((-E\alpha (T_o - T_i)) + (v SH)\right)\right)}$$

Dimana:

SMYS = *specified minimum yield stress*

2.14 Simulasi Monte Carlo

Ketika suatu sistem yang sedang dipelajari mengandung variabel atau parameter yang memiliki nilai random, atau mengandung perubah acak, maka metode simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk memecahkan persoalan ini, suatu set nilai dari tiap-tiap variabel (satu nilai untuk setiap variabel) dari suatu sistem disimulasikan berdasarkan distribusi peluangnya, misalnya berdasarkan fungsi kerapatan peluang tiap-tiap variabel tersebut. Untuk setiap set ini, respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan fungsi kinerja dari sistem tersebut. Perhitungan respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan

fungsi deterministik untuk suatu set nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut, sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data, dengan analisa statistik dapat dilakukan untuk menentukan nilai rata-rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respon atau kinerja sistem tersebut.

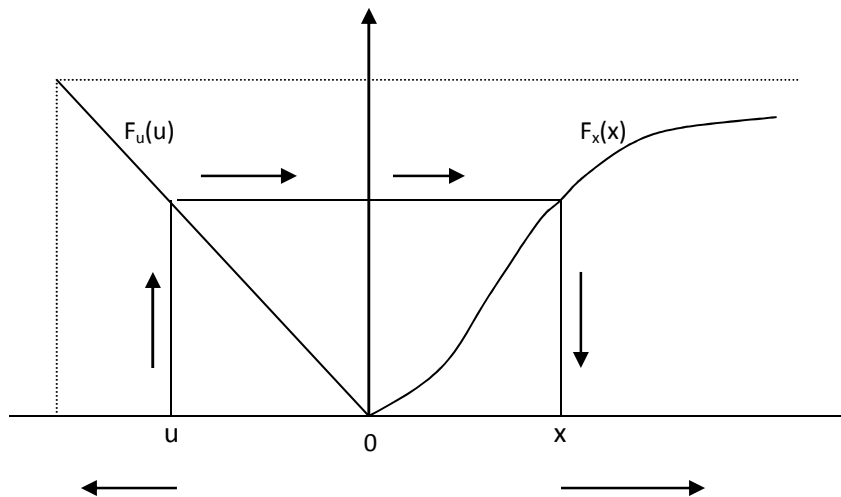
Unsur pokok yang diperlukan didalam simulasi Monte Carlo adalah sebuah *random number generator* (RNG). Hal ini karena, secara teknis, prinsip dasar metode simultan Monte Carlo sebenarnya adalah sampling numerik dengan bantuan RNG, dimana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubah acak berdasarkan distribusi peluang perubah acak tersebut. Ini berarti, Simulasi Monte Carlo mensyaratkan bahwa distribusi peluang dari perubah acak yang terlibat di dalam sistem yang sedang dipelajari telah diketahui atau dapat diasumsikan. Sampel yang telah diambil tersebut dipakai sebagai masukan ke dalam persamaan fungsi kinerja $FK(x)$, dan harga $FK(x)$ kemudian dihitung. Untuk suatu fungsi kinerja tertentu, misalnya, setiap kali $FK(x) < 0$, maka sistem/komponen yang ditinjau dianggap gagal. Jika jumlah sampel tersebut adalah N (atau replikasi sejumlah N), maka dapat dicatat kejadian $FK(x) < 0$ sejumlah n kali. Dengan demikian, peluang kegagalan sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dengan sampel atau replikasi, $P_g = n/N$.

Persoalan utama di dalam simulasi Monte Carlo adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh *random number generator* (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (f_{kp})-nya. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki *f_{kp} uniform*, sedangkan perubah dasar dalam $FK(x)$ seringkali tidak demikian (misal terdistribusi secara normal, lognormal, dan sebagainya). RNG biasanya ada dalam CPU komputer sebagai *built-in computer program* dalam bagian ROM-nya. RNG yang disediakan ini hampir selalu berbentuk *linear congruential generator* yang mengeluarkan suatu deretan bilangan cacah (integer) I_1, I_2, I_3 . Tranformasi bilangan acak menjadi

nilai perubah acak juga dapat dilakukan secara numerik dengan prosedur intuitif berikut:

1. Untuk X_P dengan fungsi kerapatan peluang yang diketahui f_{kp} , bagilah rentang X_P menjadi I interval yang sama sepanjang dx .
2. hitung luas tiap pias (ini akan menghasilkan peluang X_P memiliki harga dalam interval i , yaitu sebesar P_i) dengan mengalikan interval dx dengan tinggi f_{kp} pada X_i . Untuk setiap a_P , yang keluar dari RNG, maka a_P diperbandingkan dengan batas interval yang sesuai. Apabila $P_i < a_P < P_{i+1}$, maka a_P “dipahami” (ditransformasikan) sebagai X_i .

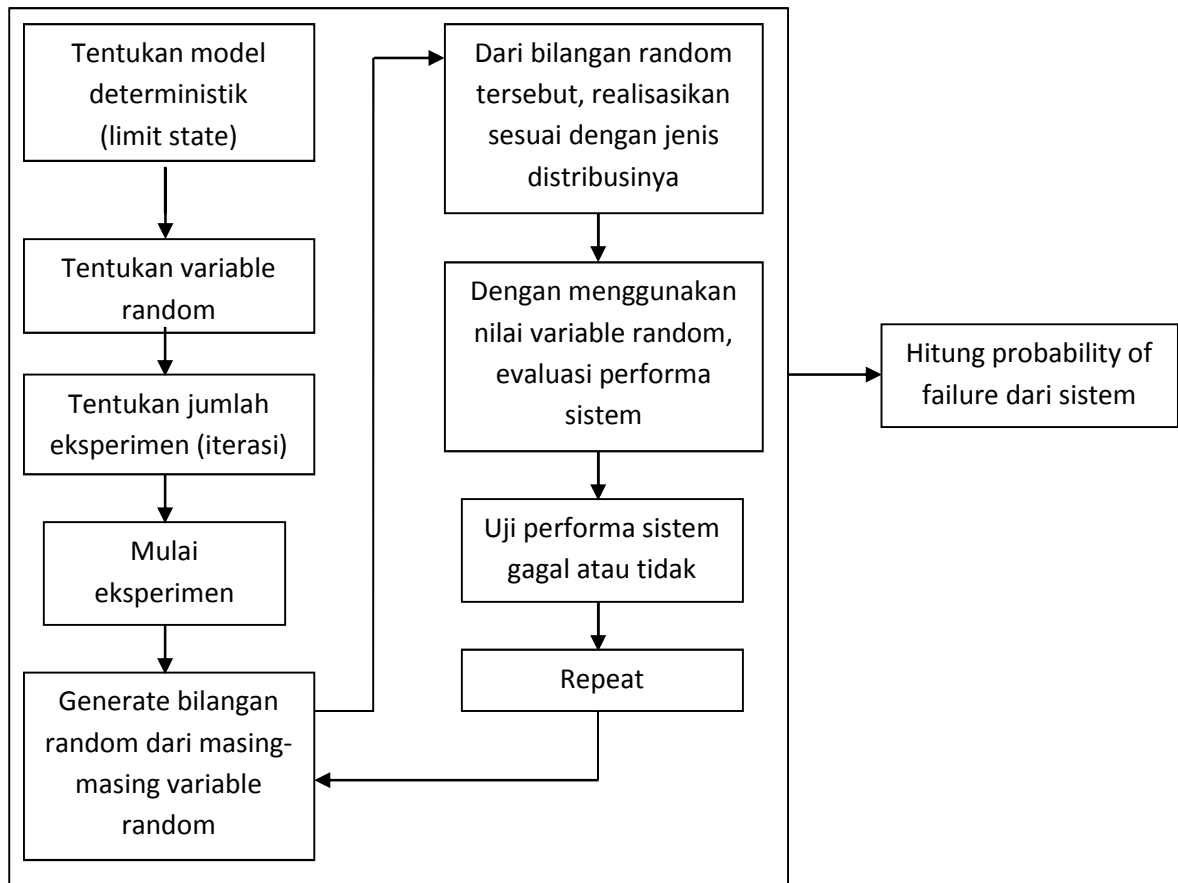
Disamping itu, transformasikan dari bilangan acak ke nilai perubah acak dapat dilakukan secara analitik, berdasarkan fungsi distribusi kumulatif perubah acak tersebut. Oleh karena fungsi distribusi kumulatif (f_{dk}) dari suatu perubah acak X merupakan fungsi kontinyu dan monotonik dari X , maka nilai $F_x(x)$ dapat dipakai sebagai alat transformasi dari nilai bilangan acak u menjadi nilai perubah acak, x , sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Hubungan Bilang Bcak yang Mengikuti Distribusi Uniform dengan Perubah Acak X yang Memiliki Fungsi Distribusi Komulatif $F_x(x)$ (Rosyid, 2007).

Sebagaimana ditunjukkan pada gambar di atas, oleh karena $u = g(x) = F_x(x)$ merupakan fungsi yang tidak memiliki elemen yang menurun (*non-decreasing function*), maka untuk sembarang nilai u diantara 0 dan 1, fungsi inverse $x =$

(u) dapat didefinisikan sebagai nilai x terkecil yang memenuhi persamaan $F_x(x) \geq u$ (berdasarkan definisi quantil dalam fungsi distribusi kumulatif). Sehingga dapat didefinisikan bahwa nilai bilangan acak diambil sebagai nilai dari quantil, $u = F_x(x)$, sedemikian sehingga nilai perubah acak dapat ditentukan (setelah fungsi distribusi komulatifnya dipunyai).



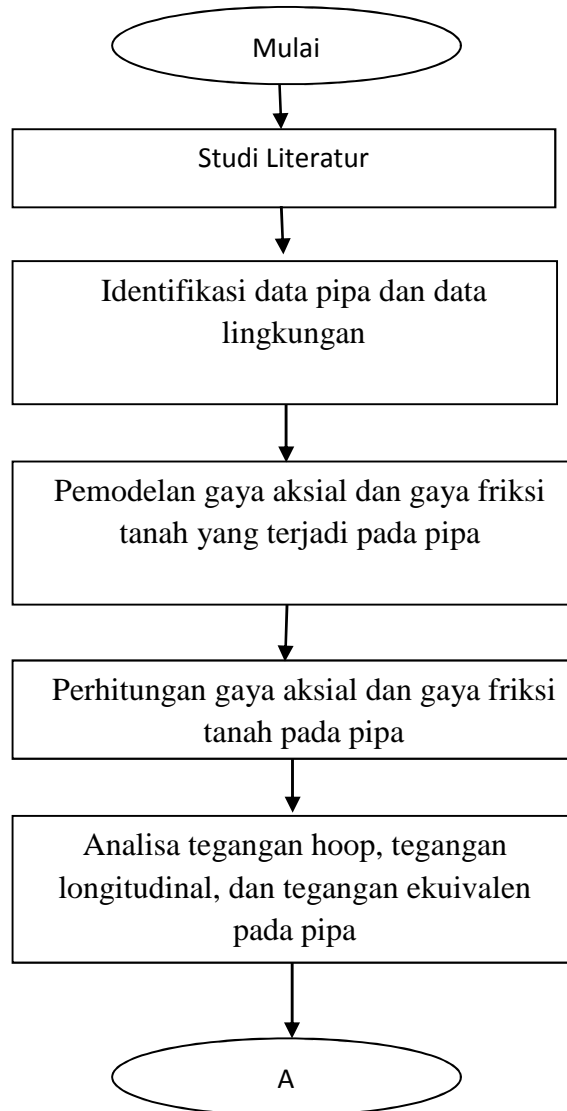
Gambar 2.9 Flowchart Dari Simulasi Monte Carlo

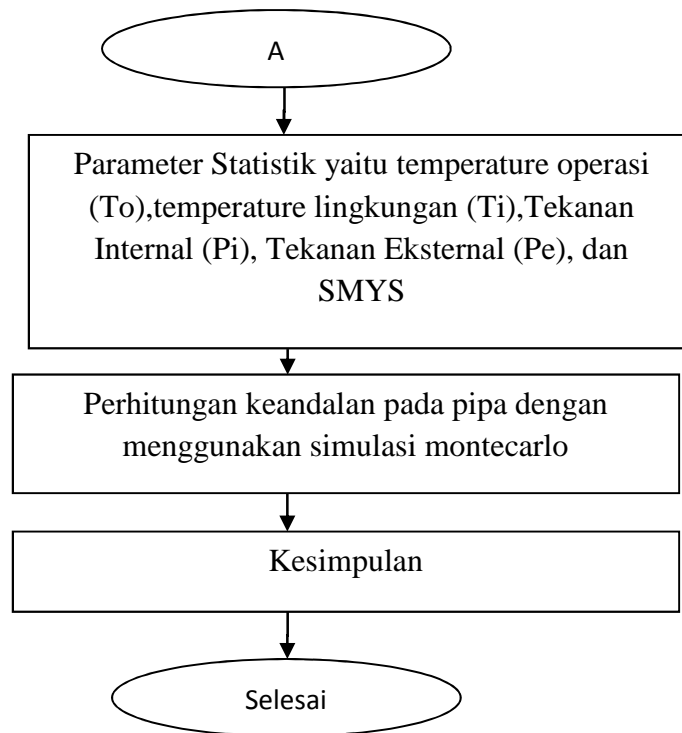
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Diagram Alir

Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, maka disusun suatu diagram alir sebagai berikut:





Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Tugas Akhir

1. Studi Literatur

Mengumpulkan bahan-bahan sumber pustaka sebagai acuan berupa buku, jurnal, dan laporan penelitian yang berhubungan dengan perhitungan tegangan dan keandalan pipa pada kondisi *buried*

2. Pengumpulan data

- Data-data yang digunakan adalah data dari Pemping *Onshore Receiving Facilities* menuju Batam *Onshore Receiving Facilities* berupa data pipa, data suhu saat beroperasi serta data tanah.

3. Pengolahan data

Data – data yang telah didapatkan tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan *stress* yang melebihi *allowable stress*, serta data lingkungan yang diperlukan.

4. Analisa respon tegangan pada pipa terkubur

Analisa tegangan dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Menghitung tegangan Longitudinal, tegangan Hoop, dan tegangan Ekuivalen.
5. Menghitung Keandalan Pipa
- Melakukan Perhitungan keandalan pipa dengan Statik parameter temperature operasi, tempratur lingkungan, tekanan eksternal, tekanan internal, dan SMYS.

3.2 Pengumpulan Data

3.2.1. Data Struktur

Tabel 3.1 Data Operasional Pipa

Parameter	Harga	
Diameter pipa	16 inch	406.4 mm
Tebal pipa	0.375 inch	9.53 mm
Spesifikasi meterial	Baja karbon	
Kelas material pipa	API 5L Grade X-60 PSL2	
<i>Corrosion allowance</i>	1.0 mm	
<i>Fabrication tolerance</i>	1.19 mm	
Massa jenis	7850 kg/m ³	
<i>Poissons ratio</i>	0,3	
Modulus Young	201700 MPa	
SMYS	415 MPa	
SMTS	520 MPa	
Koefisien Ekspansi Thermal	11,7x10 ⁻⁶ /°C	

Tabel 3.2 Data Tekanan dan Temperatur

Parameter	Harga
Tekanan Desain	5.517 MPa
Tekanan Operasi	3,792 – 4,897 MPa
Temperatur Desain	65,56 °C (150 °F)
Temperatur Operasi	45 °C (113°F)
Tekanan <i>Hydrotest</i>	8,275 MPa (1200 psig)
Temperatur <i>Hydrotest</i>	25 °C (77°F)

3.3.2. Data Lingkungan

3.3.2.1. Data Pasang Surut

Tabel 3.3 Data Pasang Surut

Tide Level	Value	Units
HAT	3.23	m
MSL	0	m
LAT	-1.75	m

3.3.2.2. Data Tanah

Tabel 3.4 Data Sand Soil

Soil Parameter	Symbol	Value	Units
Unit Weight of Soil	soil	15	kN/m ³
Soil Density	soil	1.529 x 10 ³	kg/m ³
Coef of Friction	$\mu_{c_{axl}}$	0.7	

Tabel 3.5 Data Clay Soil

Soil Parameter	Symbol	Value	Units
Unit Weight of Soil	soil	15	kN/m ³
Soil Density	soil	1.529 x 10 ³	kg/m ³
Coef of Friction	$\mu_{c_{axl}}$	0.7	

3.3.3 Pembagian Segmen**Tabel 3.6 Pembagian Segmen Pipa**

Segmen	Section	Kilometer Point (KM)	Panjang Pipa (M)	Jenis Tanah (1/2 Bagian Atas)	Jenis Tanah (1/2 Bagian Bawah)
Pemping ORF	1	0.08 - 2.487	2483.902	Silty Sand	Silty Sand
	4	10.932 - 11.5	584.227	Loose Sand	Loose Sand
Batam ORF	1	11.5 - 12	503.654	Loose Sand	Loose Sand
	2	12 - 12.705	505.908	Loose Sand	Rock Dumping
	3	12.5 - 12.705	207.374	Loose Sand	Rock Dumping
	4	12.705 - 13.008	465.962	Stiff Clayey Silt	Stiff Clayey Silt
	5	13.008 - 13.15	187.946	Stiff Clayey Silt	Stiff Clayey Silt
	6	13.15 - 13.31	198.766	Stiff Clayey Silt	Stiff Clayey Silt
	7	13.31 - 13.316	27.032	Stiff Clayey Silt	Stiff Clayey Silt

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

4.1.1 Data Properti Pipa

Pipa yang akan dianalisis yaitu pada setiap section – section yang telah disebutkan pada Tabel 3.8. Pipa ini mengalirkan gas bertekanan operasi maksimum 4.897 MPa. Data operasional serta instalasi pipaditunjukkan oleh Tabel 3.1

4.1.2 Data Properti Tanah

Selain mengetahui data properti pipa, penting juga untuk mengetahui data tanah mengingat gaya aksial akan ditahan oleh berat pipa ditambah gaya friksi tanah. Data properti tanah memiliki data yang sama. Data tanah seperti terlihat pada Tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.1 Data Properti Tanah A

Jenis Tanah	Silty Sand, Loose Sand
Undrained Shear Strength (S_u)	0 kPa
Submerged Unit Weight (γ_{soil})	15 kN/m ³
Koefisien friksi tanah (m)	0.7

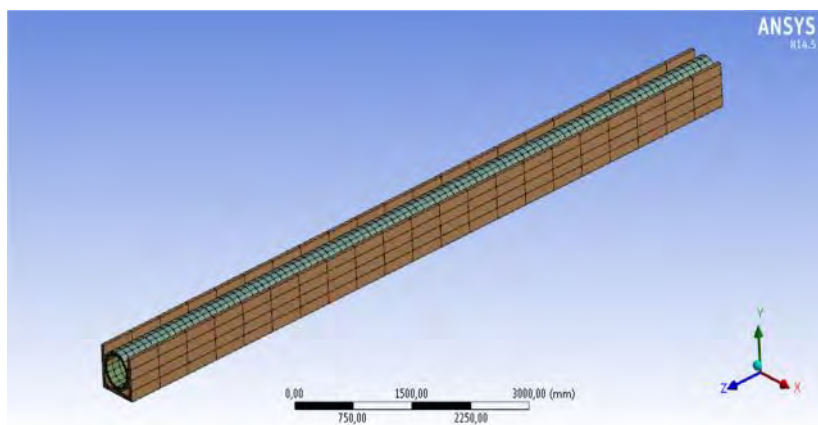
Tabel 4.2 Data Properti Tanah B

Jenis Tanah	Stiff Clayey Silt
Undrained Shear Strength (S_u)	5.017 kPa
Submerged Unit Weight (γ_{soil})	4.5 kN/m ³
Koefisien friksi tanah (m)	0.7

4.2 Pemodelan

Pemodelan gaya-gaya menggunakan *software* ANSYS Mechanical. Mula-mula memodelkan pipa dengan panjang 12m yang diletakkan di dalam sebuah kotak yang terbuka pada bagian atasnya. Kotak yang terbuka dimodelkan sebagai tanah yang berada di sekeliling pipa.

Memasukkan data material sesuai dengan *part* model yang diinginkan adalah langkah selanjutnya yang dilakukan dalam pemodelan ini. Dalam studi kasus kali ini material yang digunakan terdiri dari baja (*steel*), *concrete*, dan material tanah. Kemudian model di *meshing* atau dibuat menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk memudahkan *software* dalam menganalisis model. Semakin kecil ukuran *meshing*, maka hasil *running* akan semakin akurat.



Gambar 4.1 Model Pipa Setelah di *Meshing*

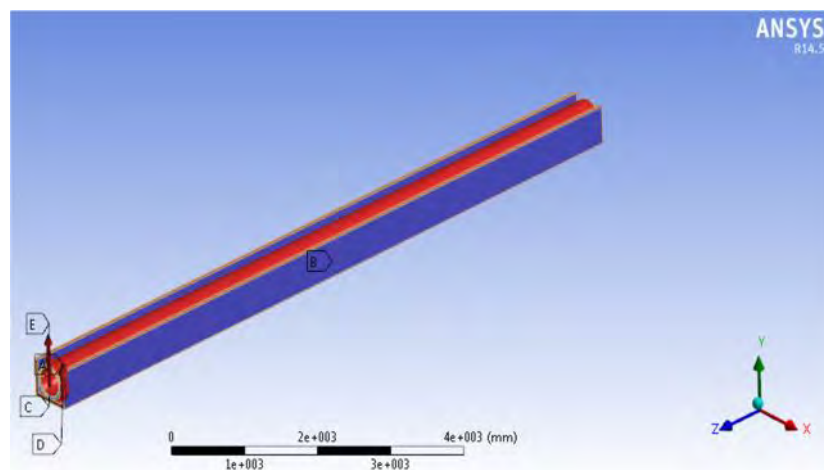
Langkah selanjutnya yaitu melakukan pembebanan dan memberikan kondisi batas pada model. Pembebanan yang dilakukan terdiri dari *Axial Force*

yaitu gaya yang mengakibatkan pipa terdorong ke sumbu Z positif dan gaya friksi tanah di atas pipa yang besarnya berbeda-beda untuk setiap section.

Tabel 4.3 Boundary Layer pada Pemodelan

Segmen	Section	Tumpuan	Panjang	Axial Force (kN)	Friction Force (N/m)	Jenis Tanah
Pemping ORF	1	Pinned - Free	12 m	227903.27	9.624	Silty Sand
	2	Pinned - Free	12 m	225844.01	9.624	Loose Sand
Batam ORF	1	Pinned - Free	12 m	222240.31	2.812	Loose Sand
	2	Pinned - Free	12 m	222755.12	4.20	Loose Sand
	3	Pinned - Free	12 m	224299.57	8.40	Loose Sand
	4	Pinned - Free	12 m	228458	8.40	Stiff Clayey Silt
	5	Pinned - Free	12 m	223409.84	2.10	Stiff Clayey Silt
	6	Pinned - Free	12 m	229072.81	2.10	Stiff Clayey Silt
	7	Pinned - Free	12 m	229587.63	2.10	Stiff Clayey Silt

Kondisi batas dalam pemodelan ini adalah dengan mengasumsikan bagian bawah, samping kiri, samping kanan, serta kedua ujung pipa memiliki tumpuan *Pinned - Free*, maksudnya adalah untuk membuat pipa hanya bisa berdefleksi ke arah vertikal ke atas. Karena pada kondisi *real* nya lapisan tanah di bagian bawah, samping kiri, serta samping kanan pipa lebih tebal dan lebih padat dibandingkan lapisan tanah dibagian atas pipa yang hanya terkubur oleh tanah sedimen yang rapuh. Sehingga kemungkinan pipa berdefleksi ke arah atas lebih besar dari pada defleksi ke arah bawah maupun samping.



Gambar 4.2 Input Pemodelan

Output dari pemodelan ini berupa gaya - gaya yang terjadi pada pipa.

4.3 Analisis Gaya Aksial

Gaya aksial adalah gaya yang mempunyai arah sama dengan sumber elemen sehingga mengakibatkan terjadinya tarikan atau tekanan pada pipa. Gaya aksial sangat dipengaruhi oleh perbedaan temperatur dan tekanan dari dalam pipa. Perbedaan temperatur di dalam dan di luar pipa akan menimbulkan ekspansi pipa untuk memuai dalam arah memanjang atau longitudinal. Namun karena pipa dalam keadaan terkubur, maka pipa tidak bebas berekspansi karena ditahan oleh tanah disekeliling pipa.

Tabel 4.4 Perhitungan Gaya Aksial Pada Pipa

Segmen	Section	Fp (kN)	Ft (kN)	Faxial(kN)
Pemping ORF	1	227903.22	0.045	227903.27
	2	225843.96	0.045	225844.01
Batam ORF	1	222240.25	0.056	222240.31
	2	222755.07	0.056	222755.12
	3	224299.51	0.056	224299.57
	4	228457.94	0.056	228458.00
	5	223409.78	0.056	223409.84
	6	229072.76	0.056	229072.81
	7	229587.57	0.056	229587.63

Dari perhitungan di atas, didapat gaya aksial pada pipa naik secara konstan dari pemping ORF section 1. Pada Batam ORF juga mengalami kenaikan, namun. Pada section 5 mengalami penurunan menjadi 223409.84 kN. Tetapi naik lagi pada section 6 menjadi 229072.81 kN.

4.4 Analisis Gaya Friksi Tanah

Gaya friksi tanah yang berada di atas pipa berfungsi menahan gaya aksial yang bekerja pada pipa, gaya ini dipengaruhi oleh tekanan tanah yang bekerja di atas pipa serta berat pipa itu sendiri. Besar gaya friksi berbeda-beda pada setiap kedalaman timbunan. Semakin dalam timbunan tanah, maka gaya friksi yang bekerja juga semakin besar.

Sedangkan *total resistance* yang berada di atas pipa adalah gaya yang terdiri dari dari gaya friksi tanah ditambah berat pipa beserta berat fluida di dalam pipa (*submerged weight*). Perhitungan *total resistance* seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan *Total Resistance*

Segmen	Section	Kedalaman timbunan (H_t)	Gaya friksi tanah	Gaya Friksi Tanah (N/m)	Submerged Weight (N/m)	Total Resistance (N/m)
Pemping ORF	1	4	$q = HD(1 + f_c \frac{H}{D})$	9.62	1320.31	1329.94
	2	4		9.62	1320.31	1329.94
Batam ORF	1	2	$q = S_u D \min(3, \frac{H}{D})$	2.81	1320.31	1323.12
	2	2		4.20	1320.31	1324.51
	3	4		8.40	1320.31	1328.71
	4	4		8.40	1320.31	1328.71
	5	1		2.10	1320.31	1322.41
	6	1		2.10	1320.31	1322.41
	7	1		2.10	1320.31	1322.41

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa pada kedalaman timbunan 1m total resistance yang terjadi yaitu 1322.41 N/m. Kemudian, pada kedalaman tanah timbunan 2m memiliki gaya total resistance 1321.12 N/m untuk kondisi tanah sand sedangkan untuk kondisi tanah stiff clayey silt memiliki nilai sebesar 1323.51 N/m. Pada kedalaman timbunan 4m gaya total resistance yang terjadi yaitu 1329.94 N/m pada kondisi tanah sand sedangkan untuk kondisi tanah stiff clayey silt memiliki nilai sebesar 1328.71 N/m. Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa semakin dalam pipa ditimbun, maka semakin besar total resistance yang terjadi. Namun sebaliknya, semakin dikit kedalaman timbunan yang mengubur pipa.

4.5 Analisis Tegangan Pipa

Analisis tegangan pipa merupakan salah satu kegiatan yang wajib dilakukan dalam desain system perpipaan. Analisis ini terdiri dari analisis tegangan *hoop*, tegangan longitudinal, serta tegangan ekivalen (Von Mises). Dengan beban tekanan operasi dan perubahan temperatur pipa, tegangan-tegangan yang bekerja didesain agar tidak lebih dari tegangan yang diijinkan. Sesuai dengan ASME B31.8 2007 tegangan yang diijinkan terlihat pada Tabel 4.5.

Apabila terdapat salah satu tegangan yang melebihi tegangan ijinnya, maka sistem pipa akan mengalami kegagalan dalam bentuk *yielding*.

Tabel 4.6 Besar Tegangan Operasi yang diijinkan

Tegangan	Tegangan yang diijinkan	
Tegangan hoop (S_h)	72% SMYS	298,8 MPa
Tegangan longitudinal (S_l)	80% SMYS	332 MPa
Tegangan ekuivalen (S_E)	90% SMYS	373,5 MPa

Tabel 4.7 Rumus Analisis Tegangan pada Pipa

Rumus	Jenis Tegangan
$S_h := \frac{(P_i - P_e) \cdot D_o}{2 \cdot t}$	Tegangan Hoop
$S_v := \nu \cdot S_h$	Tegangan Piosson
$S_T := -\alpha \cdot E \cdot (T_o - T_i)$	Tegangan Termal
$S_l := S_v + S_T$	Tegangan Longitudinal
$S_E := \sqrt{S_h^2 + S_l^2 - (S_h \cdot S_l)}$	Tegangan Ekuivalen

Tabel 4.8 Analisis Tegangan pada Pipa

Segmen	Section	Hoop Stress (Mpa)	Total Longitudinal Stress (Mpa)	Ekuivalent Stress (Mpa)
Pemping ORF	1	163.34	4.5227×10^{-05}	163.34
	2	160.32	4.43205×10^{-05}	160.32
Batam ORF	1	160.32	4.34058×10^{-05}	160.32
	2	161.32	4.3708×10^{-05}	161.32
	3	162.01	4.39094×10^{-05}	162.01
	4	164.44	4.46423×10^{-05}	164.44
	5	163.43	4.43401×10^{-05}	163.44
	6	161.75	4.38365×10^{-05}	161.76
	7	165.12	4.48438×10^{-05}	165.12

Berdasarkan hasil dari tabel 4.8 maka didapat tegangan hoop, tegangan longitudinal, dan tegangan ekuivalen pada setiap dengan tekanan maksimal operasi sebesar 4.89 MPa dan temperature operasi sebesar 45°C, masih dalam kondisi aman atau belum melebihi *maximum allowable stress* struktur yaitu 373.5 MPa. seperti pada tabel 4.9, tabel 4.10, tabel 4.11 yang ada dibawah yaitu pipa tidak mengalami *overstress* pada saat nilai tegangan tidak melewati nilai tegangan yang diijinkan yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.9 Analisis Maximum Allowable Hope Stress pada Pipa

Segmen	Section	Hoop Stress (Sh) Mpa	Maximum Allowable Stress (MPa)	Status
Pemping ORF	1	163.34	298.8	OK
	2	160.32	298.8	OK
Batam ORF	1	160.32	298.8	OK
	2	161.32	298.8	OK
	3	162.01	298.8	OK
	4	164.44	298.8	OK
	5	163.43	298.8	OK
	6	161.75	298.8	OK
	7	165.12	298.8	OK

Tabel 4.10 Analisis Maximum Allowable Longitudinal Stress pada Pipa

Segmen	Section	Total Longitudinal Stress (SI) MPa	Maximum Allowable Stress	Status
Pemping ORF	1	4.5227×10^{-05}	298.8	OK
	2	4.43205×10^{-05}	298.8	OK
Batam ORF	1	4.34058×10^{-05}	298.8	OK
	2	4.3708×10^{-05}	298.8	OK
	3	4.39094×10^{-05}	298.8	OK
	4	4.46423×10^{-05}	298.8	OK
	5	4.43401×10^{-05}	298.8	OK
	6	4.38365×10^{-05}	298.8	OK
	7	4.48438×10^{-05}	298.8	OK

Tabel 4.11 Analisis Maximum Allowable Ekiivalent (von Misses) Stress pada Pipa

Segmen	Section	Ekuivalent Stress (Se) Mpa	Maximum Allowable Stress	Status
Pemping ORF	1	163.34	373.5	OK
	2	160.32	373.5	OK
Batam ORF	1	160.32	373.5	OK
	2	161.32	373.5	OK
	3	162.01	373.5	OK
	4	164.44	373.5	OK
	5	163.44	373.5	OK
	6	161.76	373.5	OK
	7	165.12	373.5	OK

Berdasarkan perhitungan tegangan di atas, semua tegangan yang bekerja pada pipa masih memenuhi tegangan ijinnya. Maka, pipa dengan kondisi operasi seperti di atas masih dikategorikan aman.

4.6 Analisa Keandalan

Analisa keandalan dalam tugas akhir ini menggunakan simulasi *Montecarlo*. Dari Simulasi tersebut akan dilakukan iterasi sebanyak 30000 kali untuk mendapatkan nilai peluang gagal dan peluang sukses pada pipa yang akan

divariasikan terhadap perbedaan kedalaman pada pipa terkubur. Sistem ini dinyatakan andal apabila mempunyai keandalan sebesar 1 atau tidak melebihi tegangan yang diijinkan oleh standar yaitu sebesar 373.5 Mpa.

4.7 Penentuan Moda Kegagalan

Kegagalan pipa yang ditinjau adalah kegagalan pipa akibat tegangan ekuivalen pada pipa. keandalan ditinjau berdasarkan kemampuan pipa menahan beban.

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = \text{Kekuatan} - \text{Beban} \quad (4.1)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - S_E \quad (4.2)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_L^2 - (\sigma_h \sigma_L)} \quad (4.3)$$

$$\text{Moda Kegagalan} = g(x) = 0.9 \text{ smys} - \sqrt{\left((P_i - P_e) \frac{D}{2t}\right)^2 + \left((-E\alpha(T_o - T_i)) + (v SH)\right)^2 - \left((P_i - P_e) \frac{D}{2t} \left((-E\alpha(T_o - T_i)) + (v SH)\right)\right)} \quad (4.4)$$

Dengan

$SMYS$ = *specified minimum yield stress*, MPa

4.8 Penentuan Variabel Acak dan Parameter Statistik

Dari moda kegagalan seperti yang tersebut di atas dapat dicari variabel acaknya. Variabel acak dalam simulasi *Montecarlo* ini digunakan data inputan sebagai variable acak yaitu data Tekanan Internal (P_i), Tekanan Eksternal (P_e), Temperatur Operasi (T_o), Temperatur Lingkungan (T_i), dan 0.9 SMYS.

Tabel 4.12 Input Data Sebagai Variable Acak Untuk Pemping ORF

Variabel	Nilai	Units
Tekanan Internal (P_i)	4.895	Mpa
Tekanan Eksternal (P_e)	0.052	MPa
Temperatur Operasi (T_o)	45	°C
Temperatur Lingkungan (T_i)	28.9	°C
0.9 SMYS	415	Mpa

Tabel 4.13 Input Data Sebagai Variable Acak Untuk Batam ORF

Variabel	Nilai	Units
Tekanan Internal (P_i)	4.895	Mpa
Tekanan Eksternal (P_e)	0.052	MPa
Temperatur Operasi (T_o)	45	°C
Temperatur Lingkungan (T_i)	25	°C
0.9 SMYS	415	Mpa

Berikutnya dilakukan pencari parameter statistik untuk masing-masing variabel acak yang ada, meliputi: Tekanan Internal (p_i), Tekanan Eksternal (p_e), Temperatur Operasi (t_o), Temperatur Lingkungan (t_i), dan 0.9 SMYS. Pencarian parameter statistik dilakukan dengan bantuan *software Microsoft excel*. Rangkuman hasil pencarian parameter statistik dapat dilihat seperti pada Tabel 4.14 dan 4.15 sebagai berikut

Tabel 4.14 Distribusi variabel acak untuk Pemping ORF

Variabel	Distribusi	Mean	Standar Deviasi
Tekanan Internal (P_i)	Normal	4.8 MPa	0.5
Tekanan Eksternal (P_e)	Normal	0.072 MPa	0.01
Temperatur Operasi (T_o)	Normal	42 °C	1.24
Temperatur Lingkungan (T_i)	Normal	25 °C	1
0.9 SMYS	Normal	322.2 MPa	25.06

Tabel 4.15 Distribusi variabel acak untuk Batam ORF

Variabel	Distribusi	Mean	Standar Deviasi
Tekanan Internal (P_i)	Normal	4.8MPa	0.5
Tekanan Eksternal (P_e)	Normal	0.072 MPa	0.01
Temperatur Operasi (T_o)	Normal	42 °C	1.24
Temperatur Lingkungan (T_i)	Normal	23.8 °C	1
0.9 SMYS	Normal	322.2 MPa	25.06

4.9 Simulasi *Monte Carlo*

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan keandalan akibat *tegangan ekuivalen* dengan Simulasi *Monte Carlo*. Sebenarnya ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam perhitungan keandalan. Akan tetapi dalam Tugas Akhir ini dipilih menggunakan metode Simulasi *Monte Carlo*. Hal ini dilakukan karena metode Simulasi *Monte Carlo* lebih menggambarkan kondisi/keadaan riil yang terjadi di lapangan. Maksudnya adalah bahwa dalam

metode ini, simulasi dilakukan dengan data acak yang berasal dari *Random Number Generator (RNG)* atau angka acak yang sesuai dengan data sebenarnya yang acak.

Simulasi *Monte Carlo* dilakukan dengan masing-masing variabel acak di-*generate* menjadi 30000 *Random Number Generated (RNG)* yang berbeda satu sama lain. Kemudian hasilnya dimasukkan ke dalam persamaan Moda Kegagalan untuk disimulasikan. Dari hasil simulasi kemudian dihitung peluang suksesnya dengan menghitung jumlah sukses dari simulasi sejumlah 30000 data. Hasilnya dicatat peluang sukses untuk tiap-tiap 30000 simulasi agar diketahui kapan simulasi mulai mencapai peluang kesuksesan yang stabil.

Tabel 4.16 Contoh Simulasi Monte Carlo

Percobaan	Tegangan Ekuivalen (Beban)	0.9 Smys (Kekuatan)	Moda Kegagalan = Kekuatan - Beban	Status
1	158.3564532	369.1890107	206.8226043	1
2	153.0527819	342.1372632	172.7152789	1
3	180.7423918	336.0920456	178.0804196	1
4	168.3879992	327.3015778	197.6085423	1
5	136.2025769	246.1145715	85.27674025	1
6	154.2137643	325.4456596	188.1693142	1
7	156.0336287	329.397954	154.1291444	1
8	156.5057587	369.2249895	232.2187636	1
9	163.5729058	322.456261	143.7415269	1
10	170.3235726	330.9874816	179.4482533	1
11	175.3608207	315.3515158	155.3291304	1
12	149.9897279	356.9868451	187.7168531	1
29987	147.483168	304.6119284	158.8137612	1
29988	170.6885196	274.4811657	125.9372014	1
29989	171.5514455	316.4378081	147.3406535	1
29990	164.7686127	299.4133096	138.2017015	1
29991	151.1551392	311.4627137	151.7298608	1
29992	166.2312129	344.7862907	190.1015554	1
29993	132.7825364	357.045379	211.4109992	1
29994	148.8007885	311.5683398	172.0771354	1
29995	153.6701891	329.8259166	174.1346382	1
29996	158.4918573	352.9755473	195.1858797	1
29997	144.5136821	298.4457037	138.1088494	1
29998	131.5252695	297.5441998	141.1373654	1
29999	146.7708795	327.2150732	151.6289883	1
30000	162.2124743	306.3309672	137.6311653	1

Dari hasil simulasi. Langkah selanjutnya adalah mencari mana saja yang mengalami kegagalan. Dari hasil kegagalan tersebut dicari lagi Probability of Failure (PoF). Nilai keandalan didapat dari pengurangan angka 1 dengan nilai PoF. Hasil keandalan dapat dilihat dalam tabel 4.17

Tabel 4.17 Hasil Analisa Keandalan Simulasi Montecarlo pada Setiap Section

Segmen	Section	Simulasi	Sukses	Gagal	PoF	Keandalan
Pemping ORF	1	30000	30000	0	0	1
	2	30000	30000	0	0	1
Batam ORF	1	30000	30000	0	0	1
	2	30000	30000	0	0	1
	3	30000	30000	0	0	1
	4	30000	30000	0	0	1
	5	30000	30000	0	0	1
	6	30000	30000	0	0	1
	7	30000	30000	0	0	1

Pada analisa keandalan yang dilakukan, tegangan ekivalen yang dihasilkan tidak melebihi maximum allowable stress yang diijinkan yaitu 373.5 MPa, pada analisa keandalan menggunakan variable acak tekanan internal, tekanan eksternal, temperature operasi, temperatur lingkungan, dan 0.9 SMYS.

Berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo, maka didapatkan peluang sukses (P_s) pipa sebesar 1 dan peluang gagal (P_g) pipa sebesar 0. Dengan tidak adanya perubahan nilai keandalan maka peluang sukses (P_s) pada pipa milik PT Energi Listrik Batam cenderung konstan yakni sebesar 1 pada kedalaman setiap section.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari seluruh analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan ekuivalen yang terjadi pada pipa sebesar 163.34 MPa pada pemping ORF Section satu, 160.32 MPa pemping ORF Section dua dan Batam ORF section satu, 161.32 MPa pada Batam ORF section dua, 162.01 MPa pada Batam ORF section tiga, 164.44 pada Batam ORF section empat, 163.44 pada Batam ORF section lima, 161.76 pada Batam ORF section enam, 165.12 pada Batam ORF section tujuh. Tegangan ekuivalen pipa pada setiap section tidak melebihi tegangan yang diijinkan oleh standar ASME B31.8 yaitu 373.5 MPa
2. Analisa keandalan dengan menggunakan metode Montecarlo pada pipa dari Pemping ORF Menuju Batam ORF dalam kondisi terkubur adalah 1 pada setiap section. Dengan peluang keberhasilan 100%, maka pipa dari Pemping ORF Menuju Batam ORF pada pipa dalam kondisi terkubur dipastikan memiliki kekuatan yang dapat menahan beban operasi, beban ekspansi termal, *functional load*, beban lingkungan, dan beban sustain.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran untuk Tugas Akhir ini antara lain:

1. Pengaruh beban-beban luar lebih diperhitungkan lagi secara rinci.
2. Setelah dilakukan analisa keandalan, maka perhitungan umur kelelahan bisa dilakukan.
3. Metode yang digunakan dalam mencari keandalan sistem dapat divariasikan dengan menggunakan metode lain.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Civil Engineers (ASCE). 2001. *“Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe”*. USA.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). B31.8. 2007. *“Gas Transmission and Distribution Piping System”*. USA..

Bai, Yong. 2001. *Pipeline and Riser*. Elsevier Ocean Engineering book Series. USA.

Fan, Shengsheng. 2013. *Upheaval Buckling of Offshore Pipelines*. Master Thesis. Norwegian University of Science and Technology.

Kenny, J.P.1993. *Structural Analysis of Pipeline Spans*. Safety Executive. USA

Liu, H. 2005. *Pipeline Engineering*. Boca Raton: Lewis Publishers CRC Press Company

Rosyid, D.M.2007. *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Airlangga University Press. Surabaya.

Siregar, Rosman.2002. *Menentukan Keandalan Pada Model Stress-Strength Dari Satu Komponen*. Universitas Sumatera Utara.

Soegiono, 2007, *Pipa Laut*, Surabaya. Airlangga University Press. Surabaya

Universal Batam Energy. 2011. *From Pemping to Tanjung Uncang Pipeline Project*. Batam

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN STRESS

PEMPING ORF SECTION 1

Pemping ORF Section 1			
D	=	4	m
HAT	=	3.23	m

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4895843.056	pa
External Pressure	Pe	72699.46	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	28.9	C
Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.044845061	Kn
Axial Force due to Pressure		226873.5918	Kn
Total Axial Force		226873.6367	Kn

Hoop Stress		163.344	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature		3.7761E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's		4.90031E-05	Mpa

Total Longitudinal Stress			5.27792E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress			163.3437701	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

PEMPING ORF SECTION 2

Pemping ORF Section 2				
D	=	4	m	
HAT	=	3.23	m	

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4897114.432	pa
External Pressure	Pe	163196.71	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	28.9	C
Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.044845061	Kn
Axial Force due to Pressure		222240.2501	Kn
Total Axial Force		222240.295	Kn

Hoop Stress			160.322	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature			3.7761E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's			4.80966E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress			5.18727E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress			160.3219877	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

BATAM ORF SECTION 1

Batam ORF Section 1				
D	=	2	m	
HAT	=	11	m	

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4897114.432	pa
External Pressure	Pe	163196.71	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	25	C
Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		222240.2501	Kn
Total Axial Force		222240.3058	Kn

Hoop Stress			160.322	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature			4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's			4.80966E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress			5.27874E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress			160.3219872	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

BATAM ORF SECTION 2

Batam ORF Section 2				
D	=	2	m	
HAT	=	83	m	

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4896690.64	pa
External Pressure	Pe	133030.96	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	25	C

Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		223784.6974	Kn
Total Axial Force		223784.7531	Kn

Hoop Stress			161.329	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature			4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's			4.83988E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress			5.30896E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress			161.329248	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

BATAM ORF SECTION 3

Batam ORF Section 3				
D	=	4	m	
HAT	=	4	m	

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa

Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4896408.112	pa
External Pressure	Pe	112920.46	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	25	C
Specific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Specific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		224814.3288	Kn
Total Axial Force		224814.3846	Kn

Hoop Stress			162.001	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature			4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's			4.86002E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress			5.3291E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress			162.0007553	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

BATAM ORF SECTION 4

Batam ORF Section 4			
D	=	4	m
HAT	=	0	m

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4895843.056	pa
External Pressure	Pe	40221.00	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	25	C
Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		228557.9422	Kn

Total Axial Force		228557.9979	Kn
-------------------	--	-------------	----

Hoop Stress		164.444	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature		4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's		4.93331E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress		5.40239E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress		164.4437066	Mpa

Maximum Allowable Stress			
Ekivalent (von Misses) Stress		373.5	Mpa
Hoop Stress		298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress		332	Mpa

BATAM ORF SECTION 5

Batam ORF Section 5			
D	=	1	m
HAT	=	0	m

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4896266.848	pa
External Pressure	Pe	70386.75	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	25	C
Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		227013.495	Kn
Total Axial Force		227013.5507	Kn

Hoop Stress		163.436	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature		4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's		4.90309E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress		5.37218E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress		163.4364458	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

BATAM ORF SECTION 6

Batam ORF Section 6			
D	=	1	m
HAT	=	0	m

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4896973.168	pa
External Pressure	Pe	120663.00	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C
Ambient Temperature	Ti	25	C
Spesific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa

Spesific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		224439.4163	Kn
Total Axial Force		224439.472	Kn

Hoop Stress		161.758	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature		4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's		4.85273E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress		5.32181E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress		161.7576777	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

BATAM ORF SECTION 7

Batam ORF Section 7

D

=

1

m

HAT

=

0

m

Operating Data	Symbol	Value	Units
Max Operting Pressure	Pd	4895278	pa
Design Pressure	Pde	5515806	pa
Internal Pressure	Pi	4895560.528	pa
External Pressure	Pe	20110.50	pa
Maximal Operating Temperature	To	45	C

Ambient Temperature	Ti	25	C
Specific Minimum Yield Strength (SMYS)		415	Mpa
Specific Minimum Tensile Strength (SMTS)		520	Mpa
Nominal Wall Thickness		3751043.438	mm

Axial Force due to Temperature		0.05570815	Kn
Axial Force due to Pressure		229587.5737	Kn
Total Axial Force		229587.6294	Kn

Hoop Stress		165.115	Mpa
Longitudinal Stress due to Temperature		4.69081E-06	Mpa
Longitudinal Stress due to Poisson's		4.95346E-05	Mpa
Total Longitudinal Stress		5.42254E-05	Mpa
Ekivalent (von Misses) Stress		165.1152138	Mpa

Maximum Allowable Stress				
Ekivalent (von Misses) Stress			373.5	Mpa
Hoop Stress			298.8	Mpa
Total Longitudinal Stress			332	Mpa

LAMPIRAN B

SIMULASI MONTECARLO

Segmen Pemping

nomor	2t	do	random	pi	random	pe	random	ti	random	to		E	v
1	0.012	0.4064	0.13715	4.25339	0.01843	0.051128	0.586310163	25.2181	0.4174478	41.7416	0.00000117	2002462	0.3
2	0.012	0.4064	0.35917	4.61966	0.19779	0.063505	0.908280486	26.3302	0.2238688	41.0586	0.00000117	2002462	0.3

3	0.012	0.4064	0.37105	4.63547	0.84922	0.082331	0.356004734	24.6308	0.42561	41.7674	0.00000117	2002462	0.3
4	0.012	0.4064	0.40978	4.68594	0.76589	0.079254	0.165947479	24.0297	0.0913922	40.348	0.00000117	2002462	0.3
5	0.012	0.4064	0.39964	4.67286	0.78078	0.079748	0.963586117	26.7939	0.1692541	40.8132	0.00000117	2002462	0.3
6	0.012	0.4064	0.79074	5.2045	0.32957	0.067589	0.095811521	23.6942	0.5095846	42.0298	0.00000117	2002462	0.3
7	0.012	0.4064	0.31063	4.55297	0.78981	0.080057	0.490266163	24.9756	0.9969494	45.4004	0.00000117	2002462	0.3
8	0.012	0.4064	0.44815	4.73483	0.66268	0.076198	0.467310119	24.918	0.1162466	40.5195	0.00000117	2002462	0.3
9	0.012	0.4064	0.47044	4.76292	0.51026	0.072257	0.078959398	23.5879	0.0626856	40.0996	0.00000117	2002462	0.3
10	0.012	0.4064	0.3437	4.5988	0.62153	0.075095	0.734907167	25.6277	0.0912125	40.3467	0.00000117	2002462	0.3
11	0.012	0.4064	0.77765	5.18214	0.61297	0.074871	0.054073502	23.3934	0.7755928	42.9392	0.00000117	2002462	0.3
12	0.012	0.4064	0.79895	5.21894	0.60536	0.074672	0.876916659	26.1597	0.2631427	41.2142	0.00000117	2002462	0.3
13	0.012	0.4064	0.27511	4.50129	0.57164	0.073805	0.046418676	23.3194	0.6124761	42.3544	0.00000117	2002462	0.3
14	0.012	0.4064	0.47511	4.76878	0.43892	0.070463	0.025749184	23.0527	0.3542661	41.5365	0.00000117	2002462	0.3
15	0.012	0.4064	0.20019	4.37953	0.07684	0.057734	0.82794478	25.9461	0.1584867	40.7591	0.00000117	2002462	0.3
16	0.012	0.4064	0.13813	4.25562	0.11316	0.059901	0.705936494	25.5416	0.9900171	44.8855	0.00000117	2002462	0.3
17	0.012	0.4064	0.90726	5.46204	0.56954	0.073752	0.839950815	25.9943	0.5871397	42.273	0.00000117	2002462	0.3
18	0.012	0.4064	0.99293	6.02676	0.05685	0.056182	0.956465589	26.7111	0.0247788	39.5649	0.00000117	2002462	0.3
19	0.012	0.4064	0.12338	4.22088	0.9644	0.090042	0.523117785	25.058	0.1035114	40.4354	0.00000117	2002462	0.3
20	0.012	0.4064	0.91568	5.48829	0.07577	0.057659	0.95181887	26.6628	0.1045112	40.4422	0.00000117	2002462	0.3

nomor	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
1	- 38.214 8	49.742 39	11.527 58	165.808	160.355 2	0.006835	260.406 2	100.051	1
2	- 41.943 4	52.452 09	10.508 69	174.840 3	169.83	0.609081	329.139 7	159.309 8	1
3	- 43.001	47.320 59	4.3194 51	157.735 3	155.620 6	0.189941	300.194 5	144.573 9	1

	1								
4	- 48.163 9	53.828 97	5.6650 38	179.429 9	176.665 5	0.978263	372.799 3	196.133 8	1
5	- 40.902 2	43.498 67	2.5964 93	144.995 6	143.714 9	0.741954	338.473 5	194.758 6	1
6	- 38.937 8	38.678 8	- 0.2589 8	128.929 3	129.059	0.628608	330.423 9	201.364 9	1
7	- -40.53	51.307 59	10.777 55	171.025 3	165.899 3	0.01266	266.153 9	100.254 6	1
8	- 37.695 6	50.432 32	12.736 75	168.107 7	162.115 1	0.166481	297.937 8	135.822 8	1
9	- 40.945 6	46.373 7	5.4280 69	154.579	151.937 7	0.250168	305.310 5	153.372 8	1
10	- 43.455 1	58.106 64	14.651 54	193.688 8	186.794 5	0.33018	311.188 2	124.393 7	1
11	- 39.596 4	38.836 62	- 0.7598 1	129.455 4	129.837	0.257538	305.887 1	176.050 1	1
12	- 30.425	41.079 05	10.654 02	136.930 2	131.926 2	0.31576	310.181 5	178.255 3	1
13	- 31.709	45.197 58	13.488 57	150.658 6	144.387 6	0.4739	320.559 4	176.171 7	1
nomor	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
14	- 41.695	53.486 73	11.791 73	178.289 1	172.695 4	0.396861	315.647 3	142.951 9	1
15	- 35.291 7	53.487 69	18.195 95	178.292 3	169.926 6	0.467762	320.172 7	150.246 2	1
16	-	44.811	8.5724	149.371	145.275	0.806644	343.891	198.616	1

	36.239	47	97	6	1		8	7	
17	- 34.978 1	55.610 3	20.632 25	185.367 7	175.961 1	0.183845	299.625 8	123.664 7	1
18	- 41.155 7	49.083 64	7.9279 89	163.612 1	159.795 7	0.256735	305.824 7	146.029	1
19	- 41.109 1	47.082 93	5.9738 33	156.943 1	154.043 1	0.897157	353.913 9	199.870 8	1
20	- 36.576 8	44.446 38	7.8695 89	148.154 6	144.380 7	0.664208	332.824 8	188.444 1	1

percobaan ke	2t	do	random	pi	random	pe	random	ti	random	to		E	v
29980	0.012	0.4064	0.06083 6	4.02610 5	0.15493 4	0.061845006	0.49379 5	24.984446 28	0.4349 18	41.796 81	1.17E- 06	200246 2	0.3
29981	0.012	0.4064	0.14811	4.27771 3	0.33322 3	0.067689682	0.09296 5	23.677284 85	0.0960 96	40.382 89	1.17E- 06	200246 2	0.3
29982	0.012	0.4064	0.13995 2	4.25973 2	0.18676 8	0.063101319	0.15646 5	23.990906 68	0.4772 25	41.929 17	1.17E- 06	200246 2	0.3
29983	0.012	0.4064	0.07016 7	4.06272 6	0.26653 3	0.065766688	0.91713 9	26.386079 45	0.7613 98	42.881 4	1.17E- 06	200246 2	0.3
29984	0.012	0.4064	0.24074 7	4.44804 9	0.56512 5	0.073639771	0.39181	24.725395 19	0.0373 28	39.789 61	1.17E- 06	200246 2	0.3
29985	0.012	0.4064	0.34585 7	4.60173 6	0.94583 4	0.088057358	0.11739 2	23.811876 29	0.9112 74	43.672 32	1.17E- 06	200246 2	0.3
29986	0.012	0.4064	0.76331	5.15849 4	0.08083 3	0.058005072	0.46726 4	24.917851 7	0.9084 13	43.650 5	1.17E- 06	200246 2	0.3
29987	0.012	0.4064	0.578143	4.898572	0.247763	0.065184552	0.867293	26.11368718	0.617223	42.36976	1.17E-06	2002462	0.3
percobaan ke	2t	do	random	pi	random	pe	random	ti	random	to	α	E	v
29988	0.012	0.4064	0.81610 9	5.25031 8	0.30211 4	0.066816698	0.40050 6	24.747963 51	0.1059 86	40.452 28	1.17E- 06	200246 2	0.3

29989	0.012	0.4064	0.46984 5	4.76217	0.34628 2	0.068046231	0.89663 7	26.262618 86	0.4558 38	41.862 45	1.17E- 06	200246 2	0.3
29990	0.012	0.4064	0.49196 4	4.78992 7	0.24400 1	0.06506511	0.73103 5	25.615947 62	0.8157 94	43.115 32	1.17E- 06	200246 2	0.3
29991	0.012	0.4064	0.56511 8	4.88197 9	0.32152 9	0.067365739	0.58919 9	25.225485 04	0.3293 17	41.452 17	1.17E- 06	200246 2	0.3
29992	0.012	0.4064	0.49154 1	4.78939 7	0.56767 1	0.073704488	0.17101 7	24.049846 62	0.4812 05	41.941 56	1.17E- 06	200246 2	0.3
29993	0.012	0.4064	0.54818 9	4.86054 4	0.53887 6	0.072976036	0.71846 4	25.578284 19	0.5830 49	42.260 03	1.17E- 06	200246 2	0.3
29994	0.012	0.4064	0.90985 4	5.46992 7	0.33430 2	0.067719352	0.57240 3	25.182494 89	0.2411 29	41.128 68	1.17E- 06	200246 2	0.3
29995	0.012	0.4064	0.56605 8	4.88317 3	0.13459 2	0.060950569	0.67390 6	25.450723 96	0.0055 95	38.854 45	1.17E- 06	200246 2	0.3
29996	0.012	0.4064	0.25120 4	4.46464 7	0.53029	0.072759999	0.09661 4	23.698909 35	0.1934 06	40.926 89	1.17E- 06	200246 2	0.3
29997	0.012	0.4064	0.25647 6	4.47287 6	0.73005 3	0.078129724	0.73541 8	25.629281 65	0.7381 9	42.790 84	1.17E- 06	200246 2	0.3
percobaan ke	2t	do	random	pi	random	pe	random	ti	rando m	to		E	percobaan ke
29998	0.012	0.4064	0.24924 1	4.46156	0.75758 1	0.078985419	0.44444 9	24.860300 7	0.8897 17	43.519 03	1.17E- 06	200246 2	0.3
29999	0.012	0.4064	0.59355 8	4.91835 3	0.07949 2	0.057915038	0.0167	22.872755 19	0.3544 87	41.537 19	1.17E- 06	200246 2	0.3
30000	0.012	0.4064	0.62175 1	4.95504 1	0.82160 9	0.081215148	0.24641 6	24.314187 43	0.4133 23	41.728 43	1.17E- 06	200246 2	0.3

percobaan ke	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
-----------------	----	----	----	----	----	--------	---	----	--------

29980	- 41.5055	44.55801	3.052521	148.5267	147.0242	0.5062676	322.5937249	175.5695	1
29981	- 45.1082	50.68339	5.575179	168.9446	166.2272	0.8679043	350.1804772	183.9533	1
29982	- 35.6726	44.092	8.419395	146.9733	142.9497	0.6000357	328.5511967	185.6015	1
29983	- 37.4413	57.62921	20.18787	192.0974	182.8412	0.1854603	299.7775598	116.9363	1
29984	- 42.8695	47.63872	4.769243	158.7957	156.4656	0.0990479	289.9478904	133.4822	1
29985	- 37.3134	49.81114	12.49776	166.0371	160.1544	0.3392152	311.8099722	151.6556	1
29986	- 40.6077	47.34485	6.737174	157.8162	154.5577	0.7504539	339.1385282	184.5808	1
29987	- 32.3812	49.84099	17.45982	166.1366	158.1313	0.7253737	337.207942	179.0766	1
29988	- 42.3058	38.68422	-3.62158	128.9474	130.7958	0.6028681	328.7350924	197.9393	1
29989	- 44.7442	55.10426	10.36011	183.6809	178.7262	0.0033444	254.2384138	75.51224	1
29990	- 39.2115	47.42424	8.212745	158.0808	154.1386	0.7448714	338.700437	184.5618	1
29991	- 40.5651	50.09678	9.53166	166.9893	162.4333	0.8976294	353.9800696	191.5467	1
29992	- -42.275	52.49651	10.22147	174.9884	170.1081	0.2299168	303.6776328	133.5695	1
29993	- 40.0386	44.15848	4.119893	147.1949	145.1788	0.9231067	357.9426576	212.7638	1
29994	- 42.3015	53.18883	10.8873	177.2961	172.1109	0.8125935	344.4405973	172.3297	1
29995	- 40.9503	57.92091	16.97061	193.0697	185.1686	0.273568	307.1124443	121.9439	1
29996	- 33.5027	47.71863	14.21591	159.0621	152.4521	0.0325196	275.9646021	123.5125	1
29997	- 37.6099	51.21332	13.60345	170.7111	164.3322	0.5135609	323.0520079	158.7198	1

percobaan ke	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
29998	- 39.5558	49.13835	9.582569	163.7945	159.2196	0.4986188	322.1132353	162.8936	1
29999	- 31.9636	49.10981	17.14621	163.6994	155.8353	0.9790265	373.1731931	217.3379	1
30000	- 36.7662	43.55072	6.78457	145.1691	141.8985	0.8562494	348.8542982	206.9558	1

Batam ORF

percobaan ke	2t	do	random	pi	random	pe	random	ti	random	to		E	v
1	0.012	0.4064	0.19301	4.36658	0.506	0.07215	0.616910362	25.2974	0.0634888	40.1076	0.00000117	2002462	0.3
2	0.012	0.4064	0.98739	5.91905	0.26577	0.065743	0.262029006	24.3629	0.7689004	42.9117	0.00000117	2002462	0.3
3	0.012	0.4064	0.37283	4.63781	0.9194	0.086011	0.886733855	26.2093	0.1494937	40.7121	0.00000117	2002462	0.3
4	0.012	0.4064	0.52013	4.82523	0.51064	0.072267	0.98595591	27.1961	0.7596512	42.8744	0.00000117	2002462	0.3
5	0.012	0.4064	0.95572	5.65155	0.09579	0.058941	0.939784751	26.553	0.5213935	42.0665	0.00000117	2002462	0.3
6	0.012	0.4064	0.24993	4.46265	0.25798	0.065504	0.496528979	24.9913	0.6949551	42.6323	0.00000117	2002462	0.3
7	0.012	0.4064	0.52381	4.82987	0.44214	0.070545	0.146550207	23.9487	0.6991513	42.6472	0.00000117	2002462	0.3
8	0.012	0.4064	0.99327	6.03567	0.67085	0.076423	0.643402956	25.3676	0.5460595	42.1435	0.00000117	2002462	0.3
9	0.012	0.4064	0.70688	5.07215	0.50586	0.072147	0.213468279	24.2056	0.4365434	41.8019	0.00000117	2002462	0.3
10	0.012	0.4064	0.63802	4.97658	0.5886	0.074239	0.529154234	25.0731	0.307362	41.3759	0.00000117	2002462	0.3
11	0.012	0.4064	0.19097	4.36284	0.98822	0.094642	0.893360805	26.2446	0.2394295	41.1219	0.00000117	2002462	0.3
12	0.012	0.4064	0.48354	4.77937	0.59057	0.07429	0.085863486	23.6333	0.5431026	42.1342	0.00000117	2002462	0.3
13	0.012	0.4064	0.65585	5.00058	0.61646	0.074962	0.701433163	25.5285	0.2306587	41.0865	0.00000117	2002462	0.3
14	0.012	0.4064	0.12554	4.22613	0.14391	0.061371	0.611063941	25.2821	0.5320233	42.0996	0.00000117	2002462	0.3
15	0.012	0.4064	0.12482	4.22438	0.23023	0.064619	0.931516763	26.4872	0.236539	41.1103	0.00000117	2002462	0.3
16	0.012	0.4064	0.59813	4.92426	0.12318	0.060408	0.534410607	25.0864	0.5539032	42.1681	0.00000117	2002462	0.3
17	0.012	0.4064	0.18778	4.35696	0.67812	0.076625	0.75537058	25.6915	0.8859885	43.4948	0.00000117	2002462	0.3
18	0.012	0.4064	0.1262	4.22774	0.74439	0.078569	0.307405775	24.4968	0.0122554	39.2112	0.00000117	2002462	0.3
19	0.012	0.4064	0.33182	4.58256	0.40518	0.0696	0.237157001	24.2845	0.3683208	41.583	0.00000117	2002462	0.3

20	0.012	0.4064	0.64525	4.98626	0.57809	0.07397	0.638076775	25.3533	0.2037561	40.9729	0.00000117	2002462	0.3
----	-------	--------	---------	---------	---------	---------	-------------	---------	-----------	---------	------------	---------	-----

nomor	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
1	- 34.6986	- 43.63139	- 8.932807	- 145.438	- 141.1837	- 0.884924	- 352.2712	- 211.0876	1
2	- 43.4576	- 59.46961	- 16.01202	- 198.232	- 190.7308	- 0.582057	- 327.3914	- 136.6606	1
3	- 33.9783	- 46.24628	- 12.26799	- 154.1543	- 148.4011	- 0.924869	- 358.2516	- 209.8505	1
4	- 36.7326	- 48.29015	- 11.5576	- 160.9672	- 155.5108	- 0.40817	- 316.3797	- 160.8689	1
5	- 36.3464	- 56.82087	- 20.47445	- 189.4029	- 180.0409	- 0.625921	- 330.246	- 150.2051	1
6	- 41.3308	- 44.67497	- 3.344142	- 148.9166	- 147.273	- 0.764001	- 340.2239	- 192.9509	1
7	- 43.8085	- 48.3547	- 4.546168	- 161.1823	- 158.958	- 0.287946	- 308.1815	- 149.2235	1
8	- -39.304	- 60.54594	- 21.24198	- 201.8198	- 192.0818	- 0.443441	- 318.6352	- 126.5534	1
9	- 41.2262	- 50.80003	- 9.573837	- 169.3334	- 164.7553	- 0.857782	- 349.0244	- 184.2692	1
10	- 38.1953	- 49.80778	- 11.61247	- 166.0259	- 160.535	- 0.677087	- 333.7168	- 173.1818	1
11	- 34.8558	- 43.36486	- 8.509104	- 144.5495	- 140.4884	- 0.365004	- 313.5514	- 173.063	1
12	- 43.3454	- 47.8036	- 4.458178	- 159.3453	- 157.1637	- 0.173961	- 298.678	- 141.5143	1
13	- 36.4505	- 50.04427	- 13.59375	- 166.8142	- 160.4498	- 0.761427	- 340.0151	- 179.5653	1
14	- 39.4015	- 42.31398	- 2.912473	- 141.0466	- 139.6132	- 0.632106	- 330.6561	- 191.043	1
15	- 34.2603	- 42.26314	- 8.002864	- 140.8771	- 137.0511	- 0.280468	- 307.6288	- 170.5778	1
16	- 40.0204	- 49.41675	- 9.396379	- 164.7225	- 160.2311	- 0.957854	- 365.4614	- 205.2303	1

17	-41.711	43.48816	1.777176	144.9605	144.0802	0.032359	275.9091	131.829	1
18	- 34.4741	42.15555	7.681415	140.5185	136.8396	0.806553	343.8835	207.0439	1
19	- 40.5282	45.85162	5.323398	152.8387	150.2478	0.069988	285.2145	134.9667	1

percobaan ke	2t	do	random	pi	random	pe	random	ti	random	to		E	v
29980	0.012	0.4064	0.28828 7	4.52080 2	0.74428 7	0.078566184	0.106104	23.7524854 4	0.26521 6	41.2220 9	1.17E- 06	200246 2	0.3
29981	0.012	0.4064	0.34217 4	4.59673 1	0.56424 6	0.073617426	0.454313	24.8852269 5	0.59748 7	42.3060 9	1.17E- 06	200246 2	0.3
29982	0.012	0.4064	0.63428 5	4.97161 2	0.53828 5	0.072961142	0.674663	25.4528263 5	0.89731 6	43.5703 4	1.17E- 06	200246 2	0.3
29983	0.012	0.4064	0.98359 9	5.86725 4	0.32754 8	0.067533065	0.55178	25.1301604 7	0.66219 6	42.5189	1.17E- 06	200246 2	0.3
29984	0.012	0.4064	0.62105 5	4.95412 6	0.02653 9	0.052657204	0.317534	24.5253943	0.42448 1	41.7638 5	1.17E- 06	200246 2	0.3
29985	0.012	0.4064	0.31353 4	4.55707 1	0.70295	0.077329034	0.84509	26.0156014 9	0.43279 6	41.7901 2	1.17E- 06	200246 2	0.3
29986	0.012	0.4064	0.59603 9	4.92155 3	0.78947	0.080045831	0.956018	26.7062358 1	0.68653	42.6026 9	1.17E- 06	200246 2	0.3
29987	0.012	0.4064	0.62229	4.95575 1	0.03675 6	0.05410359	0.342036	24.5930866 4	0.10466 4	40.4432 9	1.17E- 06	200246 2	0.3
29988	0.012	0.4064	0.04310 1	3.94210 7	0.19723 5	0.063484602	0.736869	25.6337213 6	0.33406 2	41.4683 8	1.17E- 06	200246 2	0.3
29989	0.012	0.4064	0.93248 6	5.54728 3	0.69136 5	0.076997221	0.548519	25.1219203	0.70335	42.6622 3	1.17E- 06	200246 2	0.3
29990	0.012	0.4064	0.04588 9	3.95695 4	0.17723 4	0.06274042	0.197557	24.1496185 5	0.87680 7	43.4373 7	1.17E- 06	200246 2	0.3
29991	0.012	0.4064	0.63896 8	4.97785	0.57407 2	0.073867517	0.155557	23.9871125 3	0.03528 6	39.7578 1	1.17E- 06	200246 2	0.3
29992	0.012	0.4064	0.67590 4	5.02813 8	0.46843 6	0.071207992	0.447611	24.8683015 8	0.79665	43.0288 5	1.17E- 06	200246 2	0.3

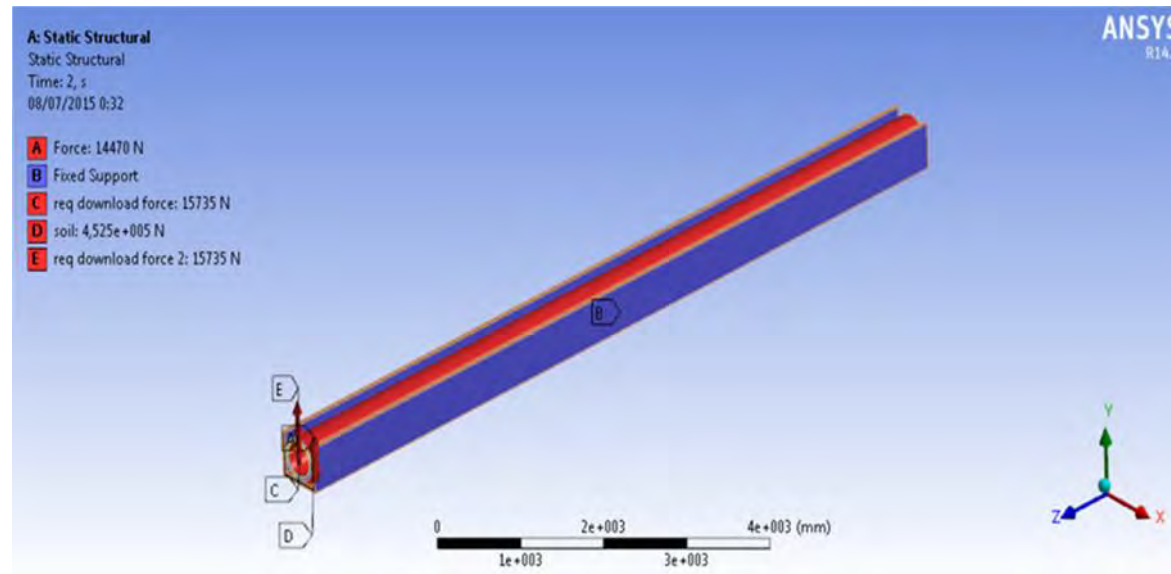
29993	0.012	0.4064	0.43821 6	4.72225 4	0.1933	0.063341988	0.312426	24.5110138 8	0.25036 7	41.1650 7	1.17E- 06	200246 2	0.3
29994	0.012	0.4064	0.44641 9	4.73264 3	0.39584 5	0.069358821	0.79527	25.8248449 7	0.15595 8	40.7461	1.17E- 06	200246 2	0.3
29995	0.012	0.4064	0.00126 8	3.29046 8	0.20575 6	0.063787639	0.108197	23.7638279 9	0.00682 2	38.9415 7	1.17E- 06	200246 2	0.3
29996	0.012	0.4064	0.34106 6	4.59522 2	0.57382 7	0.073861271	0.031986	23.1476265 8	0.44498 7	41.8284 6	1.17E- 06	200246 2	0.3

percobaan ke	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
29980	- 42.625 8	44.5732 5	1.94743	148.5775	147.6134	0.782391 3	341.7541852	194.1408	1
29981	-38.019	52.2153 8	14.1963 8	174.0513	167.4051	0.970223 3	369.4151942	202.0101	1
29982	-35.256	49.9309 3	14.6749 2	166.4364	159.6057	0.385967 2	314.9364738	155.3307	1
29983	- 44.146 1	47.2871 9	3.14111 9	157.624	156.0771	0.114832 4	292.0973599	136.0203	1
29984	- 39.058 4	56.8556 9	17.7972 8	189.519	181.2768	0.339370 2	311.8205834	130.5438	1
29985	- 42.535 6	43.0557 5	0.52015 6	143.5192	143.2598	0.749042 2	339.0272599	195.7675	1
29986	- 39.699 2	53.5620 1	13.8628 1	178.54	172.0281	0.669287 6	333.1749503	161.1469	1
29987	- 36.057 5	55.2191 3	19.1616 4	184.0638	175.2703	0.301503	309.1667308	133.8964	1
29988	- 32.635 3	48.8576 8	16.2223 9	162.8589	155.3842	0.414155	316.765248	161.3811	1
29989	-	45.7042	14.5027	152.3474	145.6386	0.137633	294.8592102	149.2207	1

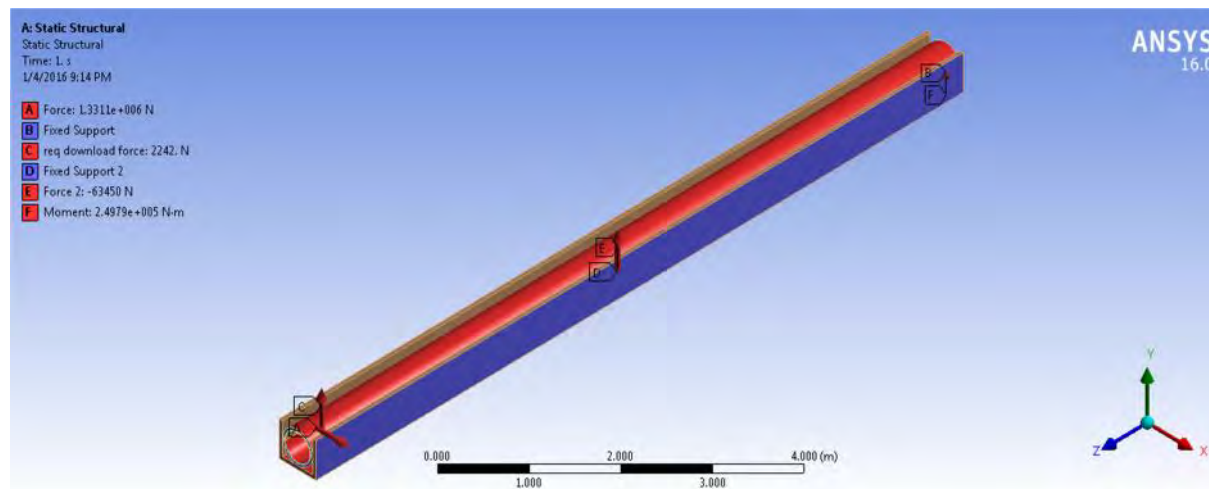
	31.201 4	1	6			5			
29990	- 41.797 4	46.4575 2	4.66012 8	154.8584	152.5817	0.274173 7	307.1580296	154.5763	1
29991	- 43.368 1	60.9306 3	17.5625	203.1021	194.9152	0.545064 2	325.0368076	130.1217	1
29992	- 37.2969	43.91825	6.621386	146.3942	143.1983	0.4187348	317.0594084	173.8611	1
percobaan ke	st	sv	sl	sh	se	random	s	mk	Status
29993	- 43.391 5	59.5482 5	16.1567 1	198.4942	190.9292	0.533374	324.2988736	133.3697	1
29994	- 40.322	51.3042 5	10.9822 1	171.0142	165.7961	0.694873 8	334.9734127	169.1773	1
29995	- 40.495 9	48.9687 8	8.47286 8	163.2293	159.1621	0.962173 7	366.7187639	207.5567	1
29996	- 41.239 9	47.4102	6.17033 3	158.034	155.0409	0.074337 2	286.0076094	130.9667	1
29997	- 42.925 7	41.8759	-1.04976	139.5863	140.1142	0.763230 3	340.1613108	200.0471	1
29998	- 37.141 7	48.1872 5	11.0455 1	160.6242	155.3961	0.104439	290.7081828	135.3121	1
29999	- 38.873 5	40.3312 8	1.45773 1	134.4376	133.7147	0.623111	330.0603642	196.3457	1
30000	- 38.953 4	55.2774 9	16.3240 8	184.2583	176.6628	0.562276 6	326.1279955	149.4652	1

LAMPIRAN C

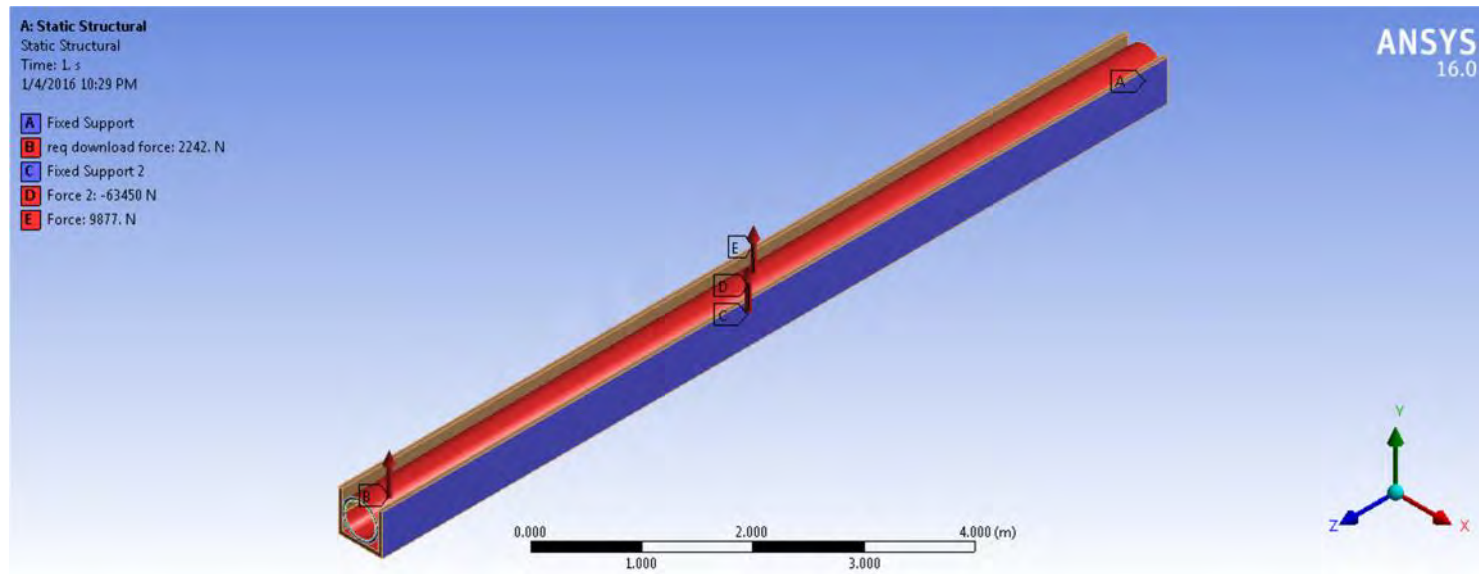
PEMODELAN GAYA – GAYA YANG BEKERJA



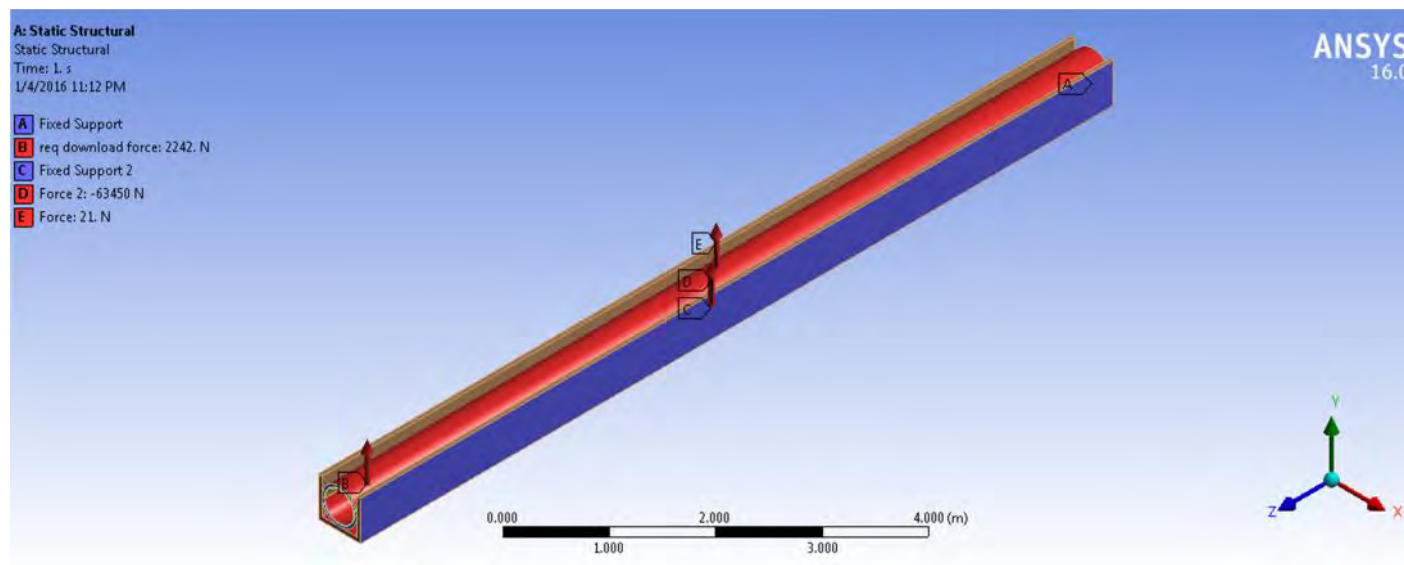
Pemping ORF Section 1



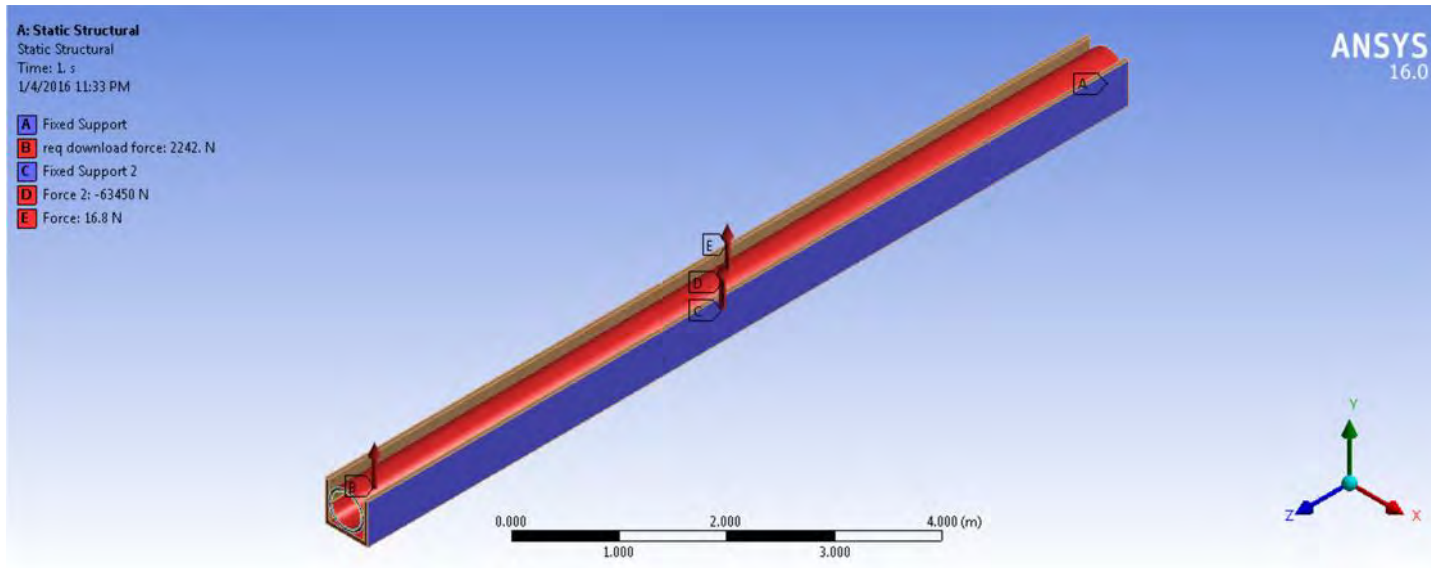
Pemping ORF Section 2 dan Batam ORF Section 1



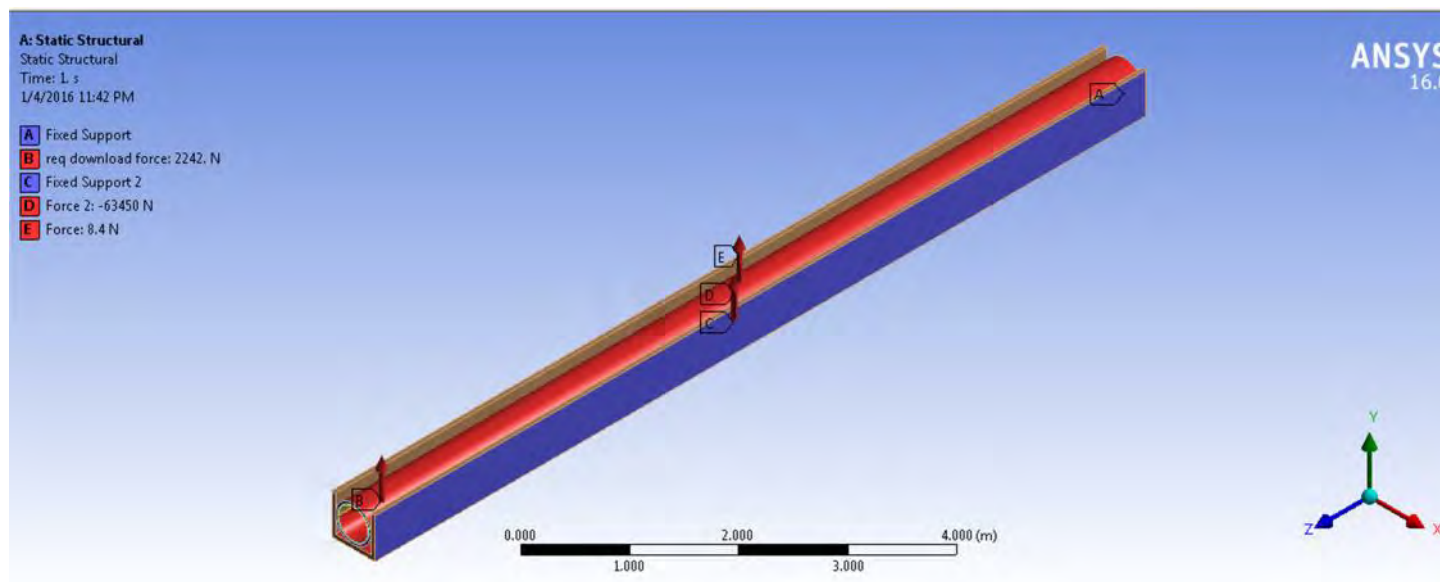
Batam ORF Section 2



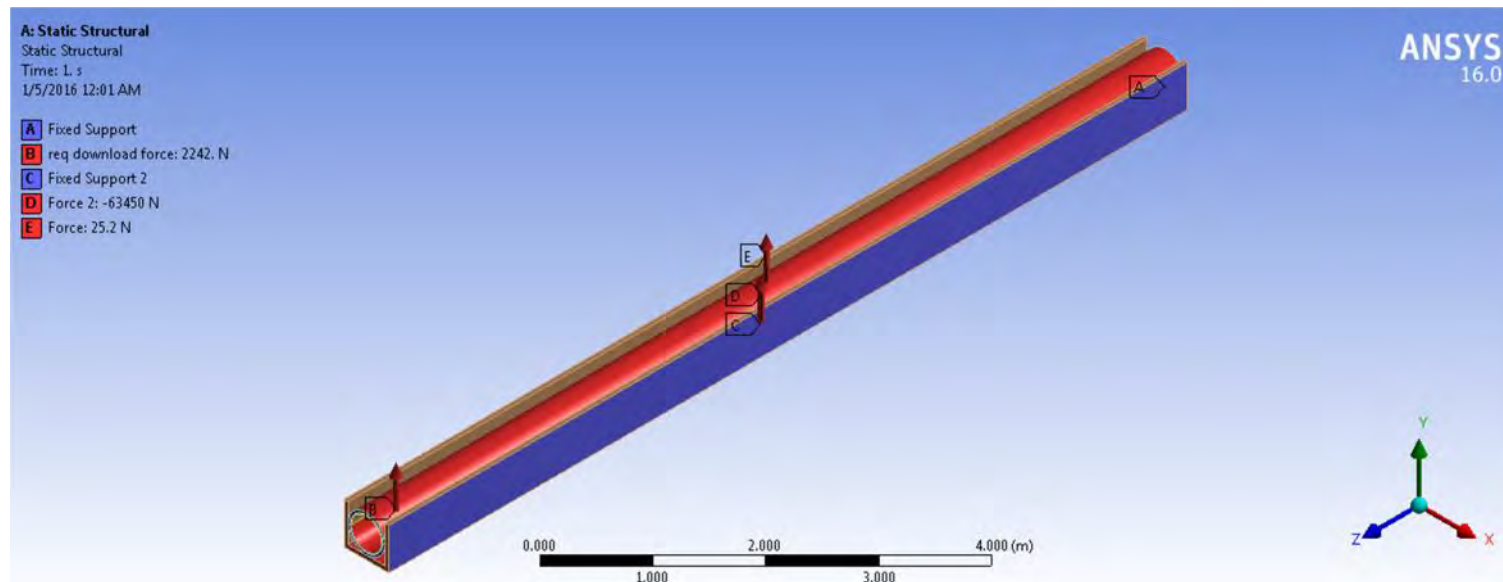
Batam ORF Section 3



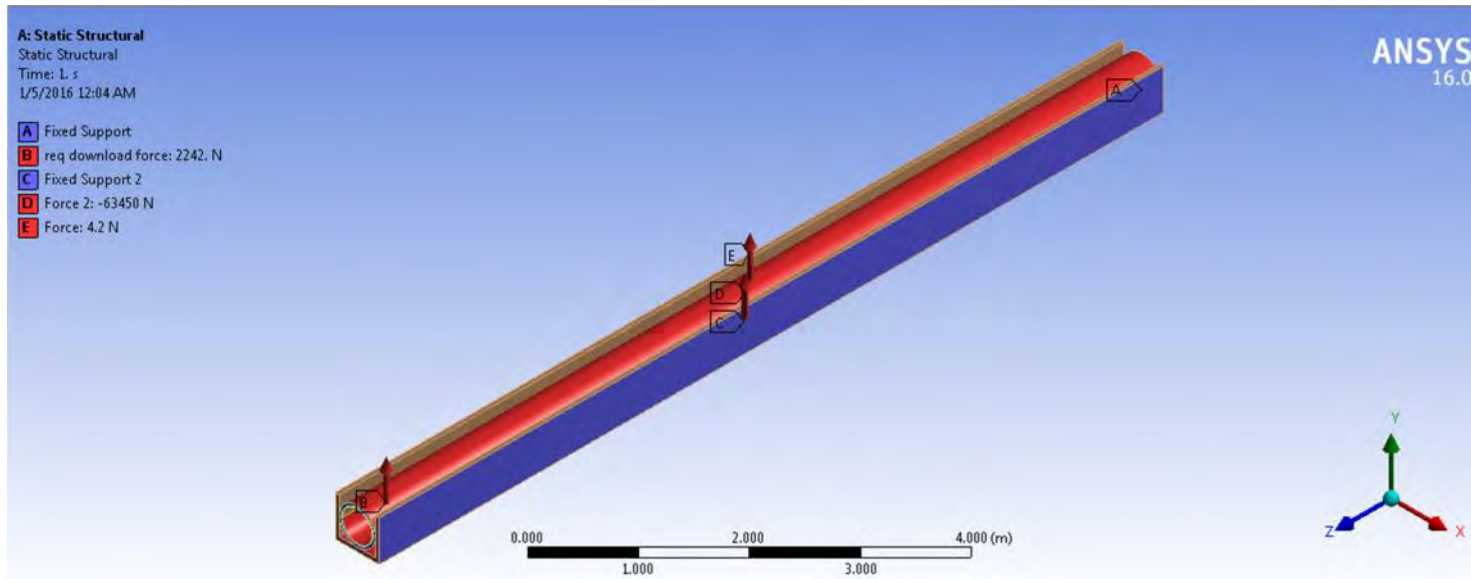
Batam ORF Section 4



Batam ORF Section 5



Batam ORF Section 6



Batam ORF Section 7

BIODATA PENULIS



Rahmantyo Erlangga lahir di Surabaya pada tanggal 16 Juli 1993 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasarnya di SDN Jajar Tunggal III Surabaya. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SMPN 29 Surabaya (2005-2008) dan ke SMAN 18 Surabaya (2008-2011). Setelah tamat dari bangku sekolah, penulis diterima di Teknik Kelautan ITS pada tahun 2011. Selama berkuliah, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) FTK-ITS dan beberapa organisasi intra kampus lainnya. Berbagai seminar dan pelatihan pernah diikuti penulis dalam rangka pengembangan diri. Tugas Akhir Penulis yang berjudul ***Analisa Keandalan Subsea Gas Pipeline Dalam Kondisi Terkubur: Studi Kasus dari Pulau Pemping Onshore Receiving Facilities menuju Batam Onshore Receiving Facilities***, berhasil diselesaikan penulis tepat waktu .

Kontak dengan penulis: rahmantyo.erlangga@gmail.com